



# MODULE D'AFFECTATION TC DU PROJET SIMBAD

**PITTION Julien**

**VA TRANSPORT  
Promotion 51**

*Juin 2006*

Président du jury : Richard MITANCHEY  
Maître de TFE : Patrick BONNEL  
Expert : Frédéric REUTENAUER



# NOTICE ANALYTIQUE

	<b>NOM</b>	<b>PRENOM</b>	
<b>AUTEUR</b>	PITION	JULIEN	
<b>TITRE DU TFE</b>	<b>MODULE D'AFFECTATION TC DU PROJET SIMBAD</b>		
	<b>ORGANISME D'AFFILIATION ET LOCALISATION</b>	<b>NOM PRENOM</b>	
<b>MAITRE DE TFE</b>	LET – ENTPE	BONNEL PATRICK	
<b>COLLATION</b>	89 pages	3 annexes (25 pages)	12 références bibliographiques
<b>MOTS CLES</b>	SIG, affectation TC, modélisation, réseaux de TC		
<b>TERMES GEOGRAPHIQUES</b>	Aire Urbaine lyonnaise		
<b>RESUME</b>	<p>Le travail de fin d'études s'inscrit dans le cadre du projet de recherche SIMBAD visant à développer un modèle de simulation des interactions transport urbanisme. L'objet de ce TFE est de tester la faisabilité de la construction d'un modèle d'affectation TC à partir d'informations simples et facilement accessibles mais avec un haut degré de résolution spatiale. Pour ce faire un premier modèle a été crée au sein du LET (Laboratoire d'Economie des Transports). En fonction de l'analyse de ces données et de l'algorithme, des modifications pourront être apportées. Les résultats d'affectations obtenus seront ensuite comparés avec ceux produits par le modèle TERESE de la SEMALY.</p>		
<b>SUMMARY</b>	<p>The end of studies work lies within the scope of the research project SIMBAD. This project aims at developing an interaction transport-town planning simulation model. The object of this work is to test the feasibility of a public transport assignment model from simple and easily accessible information but with a high degree of spatial resolution. In order to do so a first model was created by the LET (Laboratory of Transport Economics). According to the analysis of these data and algorithm, improvements could be made. Then the assignment results will be compared with those produced by TERESE, a SEMALY model.</p>		



# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	<b>9</b>
<b>1 LA MODELISATION DES DEPLACEMENTS EN MILIEU URBAIN</b>	<b>11</b>
1.1 Les modèles de prévision	11
1.1.1 Génération	13
1.1.2 Distribution	14
1.1.3 Répartition Modale	15
1.1.4 Affectation	16
1.2 Exemple du modèle SIMBAD	19
1.2.1 Spécificités du projet : SIMBAD, un modèle stratégique	20
1.2.2 Architecture de SIMBAD	21
<b>2 DIAGNOSTIC DES DONNEES DU LET</b>	<b>23</b>
2.1 Codification de l'Aire Urbaine de Lyon	23
2.1.1 Périmètre et zonage de l'aire d'étude	23
2.1.2 Codification du réseau TC de l'aire d'étude	24
2.1.3 Fréquence des lignes	27
2.1.4 Vitesses des véhicules	29
2.2 Calcul des composantes du temps de parcours	29
2.2.1 Temps d'accès initiaux	30
2.2.2 Temps d'attente :	31
2.3 Algorithme de recherche du plus court chemin	31
<b>3 ETUDE DES ADAPTATIONS APORTEES</b>	<b>35</b>
3.1 Mise en place du temps généralisé	35
3.2 Modification de l'algorithme tout-ou-rien	37
3.2.1 Adaptabilité d'un algorithme existant : le Modèle Mostra	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.2.2 Mode d'accrochage des centroïdes	37
3.2.3 Des évolutions à envisager	38
3.3 Modifications nécessaires pour l'obtention des sorties	40
3.3.1 Les indicateurs de comparaison	40
3.3.2 Les adaptations nécessaires	42

<b>4 COMPARAISON AVEC LE MODELE TERESE</b>	<b>45</b>
4.1 Matrice de demande	45
4.2 Présentation du modèle TERESE	48
4.3 Comparaison des indicateurs	49
4.3.1 Comparaison des indicateurs d'affectation	49
4.3.2 Comparaison des différents temps de parcours	54
<b>CONCLUSION</b>	<b>59</b>

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1.1 : Déplacement, chaîne, sortie [Bonnel, 2002] .....	13
Figure 1.2 : Génération des déplacements : émission et attraction par zone .....	14
Figure 1.3 : Distribution des déplacements .....	15
Figure 1.4 : Répartition modale des déplacements .....	16
Figure 1.5 : Classification des modèles d'affectation .....	17
Figure 1.6 : Aire urbaine de Lyon (1990) .....	20
Figure 1.7 : Interaction entre les différents modules de SIMBAD ( source LET).....	22
Figure 2.1 : Exemple de problème de régularité .....	28
Figure 2.2 : Problème d'affectation des passagers sur les lignes fictives.....	28
Figure 2.3 : Exemple de problème d'accrochage d'IRIS .....	30
Figure 2.4 : Exemple de non prise en compte d'un plus court chemin .....	33
Figure 3.1 : Découpage de l'Aire Urbaine de Lyon dans MoStraLyon ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 3.2 : Exemple du nouveau mode d'accrochage des centroïdes.....	37
Figure 3.3 : Temps de calcul en fonction de la distance d'accrochage.....	38
Figure 3.4 : Résolution du problème de la figure 2.4.....	39
Figure 3.5 : Exemple de multiplication des nœuds du réseau .....	40
Figure 3.6 : Tableau des indicateurs de comparaison retenus .....	41
Figure 3.7 : Tableau de sortie du programme .....	42
Figure 4.1 : Différence de découpage entre le zonage IRIS et le zonage SEMALY.....	45
Figure 4.2 : Découpage intersection des découpages IRIS et SEMALY.....	46
Figure 4.3 : Intersection entre le découpage intermédiaire et les surfaces bâties .....	47
Figure 4.4 : Table permettant de trouver les coefficients de pondération.....	47
Figure 4.5 : Matrice OD entre les zones intersections.....	47
Figure 4.6 : Aire Urbaine de Lyon et découpage SEMALY .....	48
Figure 4.7: Nombre totaux de déplacements et voyages sans pénalités d'accès.....	50
Figure 4.8: Nombre totaux de déplacements et voyages avec pénalités d'accès.....	50
Figure 4.9 : Nombre de déplacements en fonction des ruptures de charge sans pénalités d'accès...	51
Figure 4.10 : Nombre de déplacements en fonction des ruptures de charge avec pénalités d'accès	52
Figure 4.11 : Nombre de déplacements en fonction des modes de transport utilisé sans pénalités d'accès .....	53
Figure 4.12 : Nombre de déplacements en fonction des modes de transport utilisé avec pénalités d'accès .....	53
Figure 4.13 : Temps de parcours moyens pondérés sans pénalités d'accès.....	55
Figure 4.14 : Temps de parcours moyens pondérés avec pénalités d'accès .....	55
Figure 4.15 : Nombre de déplacements et parts de ces déplacements sur le total par classe de temps réel sans pénalités d'accès.....	56
Figure 4.16 : Nombre de déplacements et parts de ces déplacements sur le total par classe de temps réel sans marche à pied et avec pénalités d'accès .....	56
Figure 4.17 : Part des différentes phases du déplacement dans le temps réel sans pénalités d'accès	57

Figure 4.18 : Part des différentes phases du déplacement dans le temps réel avec pénalités d'accès 57  
Figure Annexe : Principe d'affectation des vitesses (sources D.Caubel et Route 66 Express©) .....63



# INTRODUCTION

Mon travail de fin d'étude prend place au sein du projet SIMBAD. Le projet Simuler les MoBilités pour une Agglomération Durable mené par le LET (Laboratoire d'Economie des Transports), prolonge les travaux précédemment réalisés dans le cadre du projet Télescopage. SIMBAD a pour objectif de tester des politiques de transports et d'évaluer leurs impacts sur la mobilité urbaine en considérant les dimensions économiques, environnementales et sociales. Ce modèle de simulation repose sur plusieurs modules en interaction les uns avec les autres.

Ainsi mon intervention se situe dans la phase d'affectation des transports collectifs. L'objectif du projet SIMBAD concernant les transports en commun est de fournir les temps d'accès en tous points de l'aire urbaine de Lyon afin d'alimenter les modules de localisation des activités et des lieux de résidence. Dans cette optique le LET souhaite utiliser des données simples d'accès mais avec un haut degré de résolution spatial. Ces données ont été saisies en grandes parties sous SIG et constituent une description fine du réseau de transport en collectif de l'aire urbaine de lyonnaise. Il est également nécessaire de construire un modèle d'affectation de transports en commun. Un premier algorithme d'affectation a été également créé. Il convient donc avant de pousser le développement de ce module de tester la pertinence de l'utilisation de ces données et de cet algorithme. Pour ce faire une comparaison avec des logiciels d'affectation TC est nécessaire et les résultats du modèle TERESE de la SEMALY serviront de base d'analyse.

Avant de comparer les deux modèles, il semble nécessaire de présenter dans une première partie les fondements de la modélisation des déplacements en milieu urbain. Nous verrons le principe des modèles à quatre étapes. Nous insisterons tout particulièrement sur l'étape d'affectation Puis nous finirons par l'exemple du projet SIMBAD avec l'architecture de ce modèle. Ensuite nous passerons au diagnostic des données du LET ainsi que de l'algorithme de recherche des plus courts chemins, le but de cette partie étant de mettre en évidence les lacunes que ces composantes peuvent présenter. En partant du diagnostic je vais présenter dans une troisième partie qu'elles ont été les améliorations apportées à la codification ou à l'algorithme et qu'elles peuvent être les pistes d'amélioration. Enfin nous terminerons par une rapide présentation du modèle TERESE et par la comparaison des deux modèles.



# 1 LA MODELISATION DES DEPLACEMENTS EN MILIEU URBAIN

En termes de transport, le milieu urbain est d'une complexité inouïe. Modéliser un tel territoire n'est pas une chose aisée. Les enjeux propres aux déplacements constituent un défi qui se doit d'être relevé et que les avancées de la technique rendent envisageables. Sans aller jusqu'à dire que les transports sont mécaniquement liés au développement économique et social d'un territoire, ils sont intimement liés, et leurs conséquences sont d'envergure.

Dans une première partie, nous allons présenter les principes généraux des modèles de planification et de prévision de la demande de transport. Nous verrons de façon plus précise les modèles à quatre étapes et insisterons notamment sur la phase d'affectation. Puis dans une deuxième partie nous allons évoquer l'exemple du projet SIMBAD auquel mon travail est rattaché.

## 1.1 Les modèles de prévision

Les modèles de prévision, comme leur nom l'indique, ont pour vocation d'être des instruments utiles à la gestion des transports à moyen et long terme. L'utilisation de tels outils trouve ses fondements au-delà de la simple nécessité de s'adapter le plus finement possible aux besoins. En effet, plusieurs exigences économiques et sociales rendent la prévision des déplacements indispensable :

- Les contraintes inhérentes à la construction de nouvelles infrastructures de transport sont très importantes. Ces contraintes sont principalement le coût très élevé des investissements, qui peuvent se chiffrer en centaines de millions d'euros, ainsi que les délais importants de construction et la durée de vie des investissements. Or dans le cadre de projets publics il est difficile de démontrer qu'un projet possède bien un intérêt général, les deniers publics étant utilisés. Pour un investisseur privé, l'assurance de réaliser un bon investissement est tout aussi importante et la rentabilité d'un projet devra être montrée. C'est donc à ce niveau là qu'interviennent les modèles de prévision.
- La complexité croissante des systèmes de déplacement, surtout dans un milieu urbain, dont on ne peut appréhender les rouages par la seule logique. Une meilleure compréhension des facteurs explicatifs de la mobilité permet alors d'envisager une politique préventive de lutte contre des tendances jugées néfastes plutôt qu'une politique uniquement palliative.
- L'interdépendance entre le système des transports et le développement économique et social d'un milieu est très forte. Ainsi la création d'une nouvelle infrastructure de transport pourra impacter très fortement les caractéristiques sociales et économiques d'une zone.

À l'échelle d'un territoire, les modèles de planification ont l'ambition de prévoir les déplacements à des horizons donnés. Ces prévisions permettent alors d'étudier, et surtout de comparer, divers scénarios afin d'étayer des politiques à long terme. Elles se basent sur la connaissance de l'aire d'étude pour recréer les déplacements effectués par ses habitants à une époque de référence connue. Des facteurs d'évolution sont ensuite appliqués afin de se projeter dans l'avenir. Cela suppose notamment que les éléments explicatifs de la mobilité restent constants dans le temps.

Les modèles de prévision les plus utilisés sont *les modèles à quatre étapes*. Dans ce cas, les processus du choix présidant au déplacement sont classiquement décomposés en quatre étapes distinctes qui se suivent :

- « est-ce que je me déplace ? » : c'est l'étape de génération ;
- « vers quel endroit ? » : on parle de distribution ;
- « de quel façon ? » : il s'agit du choix modal ;
- « par quel chemin ? » : cela correspond à l'affectation.

Les deux premières étapes visent à déterminer la demande en termes de déplacements. Les deux dernières la répartissent en fonction de l'offre existante.

Il existe plusieurs familles de modèles à quatre étapes qui se différencient principalement suivants trois points :

- Dans le cas où les différentes phases que nous venons de voir sont bien marquées, les modèles sont appelés séquentiels. Toutefois il apparaît que la résolution successive de ces étapes est hautement artificielle : la décision de se déplacer et la destination sont bien évidemment intimement liées à l'offre de transport. Ainsi certains modèles traitent simultanément plusieurs étapes, on parle à ce moment là de modèles directs.
- Il est également possible d'opérer une différenciation en fonction du niveau d'agrégation. Ainsi dans une approche agrégée, le sujet considéré lors des choix de déplacements sera un individu moyen. Au contraire une approche désagrégée isolera chaque individu. Il est donc bien évident que la deuxième approche conservera plus d'informations. Il existe également une approche intermédiaire qui est l'agrégation catégorielle où l'on classe les individus en fonction de différents paramètres. Toutefois il faut garder à l'esprit la notion de cohérence des données et ainsi se souvenir qu'il ne sert à rien d'avoir une approche désagrégée pour un certain type de données avec une grande précision et une approche agrégée pour d'autres types, comme le zonage par exemple avec une modélisation grossière.
- Enfin il est possible de faire une dernière distinction, en différenciant les modèles déterministes des modèles stochastiques. Dans le cas de l'approche déterministe le choix du déplacement est fait de façon déterministe, c'est-à-dire que l'on se trouve dans une approche tout ou rien. Alors que pour l'approche stochastique, on définit une probabilité de choix de l'individu.

En théorie en croisant ces différents types d'approches il serait possible d'obtenir 8 classes de modèles. Or en réalité on en trouve beaucoup moins. La raison est que certaines approches, même si elles ne sont pas totalement incompatibles sont difficiles à mettre en place conjointement. Par exemple il est très rare de trouver des modèles désagrégés qui soient à la fois directs et déterministes. En France, l'utilisation dominante reste le modèle agrégé à quatre étapes, historiquement restreint à la phase d'affectation. En revanche, dans les pays anglo-saxons le recours aux modèles désagrégés est largement répandu. Les pratiques sont toutefois en train d'évoluer, en France, pour répondre à l'évolution des problématiques de transport de plus en plus multimodales.

Nous allons maintenant voir plus précisément chacune des quatre étapes, en insistant sur l'affectation qui est la phase qui nous intéresse tout particulièrement.

### 1.1.1 Génération

Cette étape correspond au choix de l'individu de se déplacer ou de ne pas se déplacer. L'étape de génération permet donc de définir le volume de déplacement réalisé par les individus. Lors de cette phase, on détermine le nombre de déplacements émis et reçus par chaque zone, en fonction de caractéristiques socio-économiques et des critères de mobilité. Cette étape est dans un premier temps totalement indépendante de l'offre de transport.

Avant d'aller plus loin dans la description de cette première étape, il est nécessaire de définir ce qu'est un déplacement. Il n'y a pas de définition unique et celle-ci conditionne évidemment la manière dont cette étape se déroule. La définition utilisée dans le cadre des enquêtes ménages en France est la suivante : « *Le déplacement est le mouvement d'une personne, effectué pour un certain motif, sur une voie publique, entre une origine et une destination, selon une heure de départ et une heure d'arrivée, à l'aide d'un ou plusieurs moyens de transport* »<sup>1</sup>.

Toutefois cette définition est difficilement applicable au sens strict, car on observe une multiplication conséquente du nombre de déplacements, ainsi qu'une segmentation artificielle des activités qui peuvent être liées. Ainsi à partir de ce moment là on peut se demander à partir de quel temps de parcours ou bien pour quel motif un déplacement sera pris en compte.

C'est pourquoi la notion de sortie a été avancée. Une sortie est composée de la totalité des déplacements effectués par un individu entre le départ du domicile et le retour à celui-ci.

On peut également définir une autre notion qui est la chaîne de déplacement. Il s'agit de la succession des déplacements entre le domicile et le motif principal de la sortie ou entre ce motif principal et le retour au domicile. Comme on peut le voir sur la figure 2.1, une sortie peut être décomposée en chaînes de déplacements.

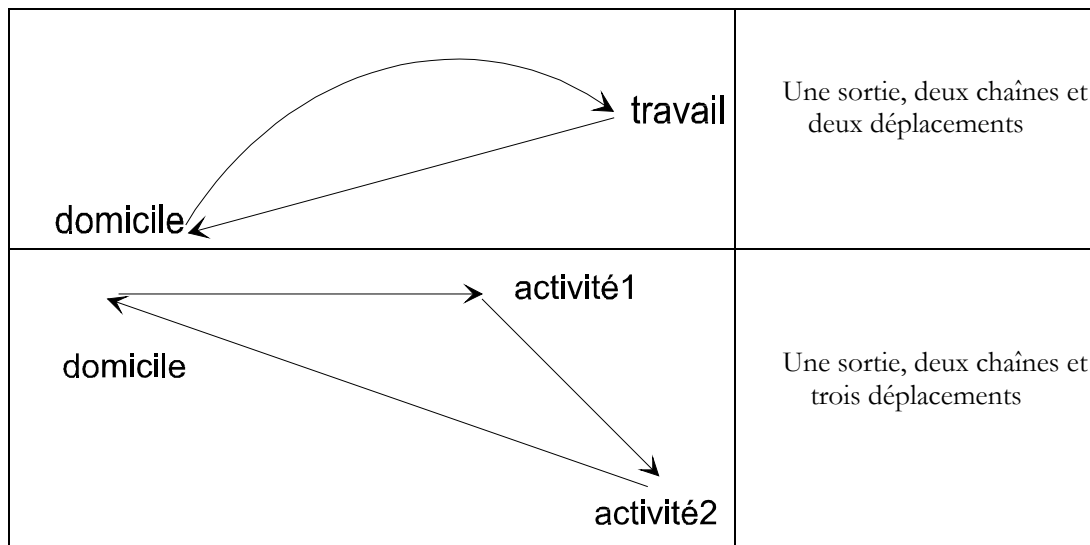


Figure 1.1 : Déplacement, chaîne, sortie [Bonnell, 2002]

Lorsque l'on parle de déplacements il est aussi primordial de préciser si l'on considère les déplacements d'un ménage ou alors juste d'un individu. Il est aussi fondamental d'explicitier la durée sur laquelle on considère les déplacements. On peut ainsi décompter les déplacements de façon journalière mais également à une heure de pointe, du soir ou du matin.

<sup>1</sup> CERTU, *L'enquête ménages déplacements « méthode standard »*, Collections du CERTU, éditions du CERTU, Lyon, 1998, 295p.

Enfin il est possible de segmenter les déplacements par motif. Cette décomposition a pour but de renforcer le caractère explicatif des modèles de génération, car les variables pouvant expliquer chacun de ces motifs sont bien entendu différentes.

Comme nous l'avons déjà vu, la finalité du modèle de génération est de produire les émissions et attractions par zone (figure 1.2).

- Les émissions correspondent à l'ensemble des déplacements émis par une zone. C'est-à-dire l'ensemble des déplacements dont l'origine se situe dans la zone. Les variables explicatives des émissions sont le plus souvent relatives aux caractéristiques de la population résidant dans la zone considérée.
- Les attractions correspondent à l'ensemble des déplacements reçus par une zone. C'est-à-dire l'ensemble des déplacements dont la destination se situe dans la zone. Cette fois-ci les variables explicatives sont davantage des variables qui caractérisent les activités disponibles dans la zone.

Ainsi sur une journée le nombre d'émission est censé être égal au nombre d'attraction d'une zone.

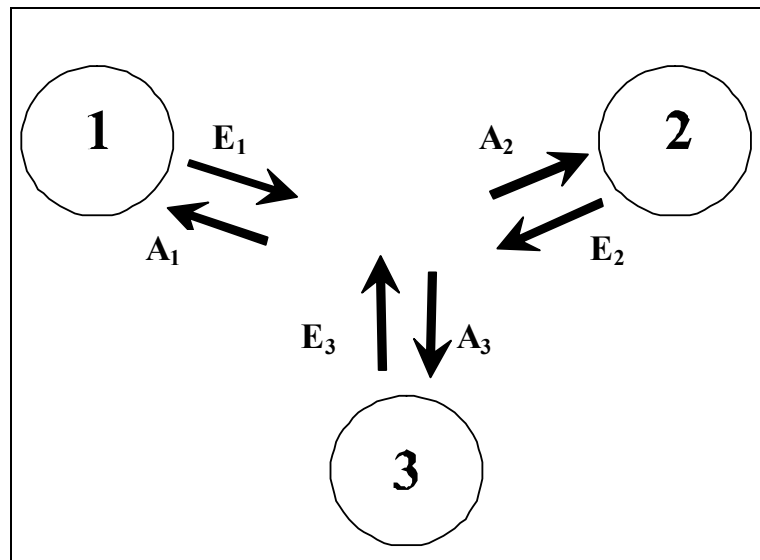


Figure 1.2 : Génération des déplacements : émission et attraction par zone

### 1.1.2 Distribution

A l'issue de la phase de génération, l'individu a pu choisir ou non de se déplacer. Maintenant c'est durant l'étape de distribution qu'il va choisir sa destination. Ainsi cette phase consiste à déterminer la façon dont se répartissent les déplacements entre les zones. Pour chaque zone émettrice, on répartit les déplacements qui en sont issus entre les zones réceptrices. (figure 1.3). A la fin de cette étape, on obtient la matrice origines – destinations (couramment appelée matrices OD). Tout comme pour la génération, il y a autant de matrices origines-destinations que de motifs retenus dans la description des déplacements. On utilise pour cela les données de la phase précédente (les émissions  $E_i$  et les attractions  $A_i$  de toutes les zones  $i$ ), avec comme contraintes pour toute zone  $i$  :

$$A_i = \sum_j T_{ji} \quad \text{et} \quad E_i = \sum_j T_{ij} \quad \text{où} \quad T_{ij} \text{ est le nombre de déplacements ou de chaînes de déplacements de la zone } i \text{ vers la zone } j$$

Les valeurs des déplacements  $T_{ij}$  sont ainsi obtenues à partir des valeurs des  $E_i$  et  $A_j$  ainsi que du coût généralisé du déplacement entre les zones  $i$  et  $j$ . Le coût généralisé est fonction du prix du déplacement, du temps nécessaire pour l'effectuer et de la valeur de ce temps. Le prix comme le temps du déplacement renvoient plus à un ressenti qu'à des valeurs réelles et sont distincts suivant les modes de transport. Dans le temps, on peut prendre en compte l'accès au réseau, la recherche de stationnement, etc. Nous reviendrons sur cette notion de coût généralisé par la suite.

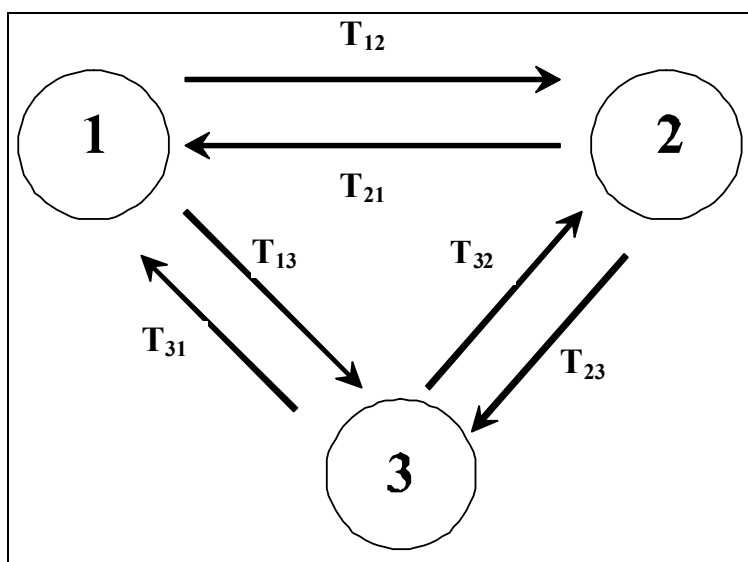


Figure 1.3 : Distribution des déplacements

### 1.1.3 Répartition Modale

À l'issue des deux étapes précédentes, nous disposons des matrices origines-destinations. En fonction des modes retenus, on détermine la répartition des déplacements entre les différents types de transports disponibles (figure 1.4). Selon la modélisation choisie, le même mode de transport sera conservé pour tous les déplacements de la sortie, ou alors il sera possible d'en changer. On parle dans ce cas de multimodalité. Toutefois ces modèles sont encore rares en France.

Il est classique d'organiser les facteurs explicatifs du choix du mode en trois groupes relatifs à :

- L'offre de transport : Les deux principaux paramètres pris en compte sont le prix et le temps. Il est bien entendu possible d'en considérer d'autres mais ils peuvent parfois être difficiles à appréhender, étant moins quantifiables. Comme nous allons le voir plus tard, ces deux variables sont prises en compte dans les temps généralisés.
- Les caractéristiques du déplacement : Ces paramètres sont principalement l'origine, la destination, le motif, l'heure de la journée.
- Les caractéristiques de l'individu ou du ménage : le taux de motorisation constitue le paramètre principal rentrant dans cette catégorie.

Ainsi à l'issue de cette phase les résultats sont les matrices OD par mode et par motif. Pour toute origine  $i$  et destination  $j$ , nous devons donc avoir l'égalité suivante :

$$T_{ij} = \sum_k T_{ij}^k \text{ où les } k \text{ sont les différents modes de transport}$$

A ce niveau il semble nécessaire de préciser si les différents  $T_{ij}$  sont un nombre de déplacements d'individus ou alors de véhicules. C'est à ce moment qu'intervient la phase de conversion véhiculaire, qui permet de passer pour le mode voiture d'une matrice de déplacements d'individus à une matrice de déplacements de véhicules avant la phase d'affectation. La conversion correspond simplement à la prise en compte du taux d'occupation des véhicules. Généralement une valeur de 1,2 ou 1,3 est retenue.

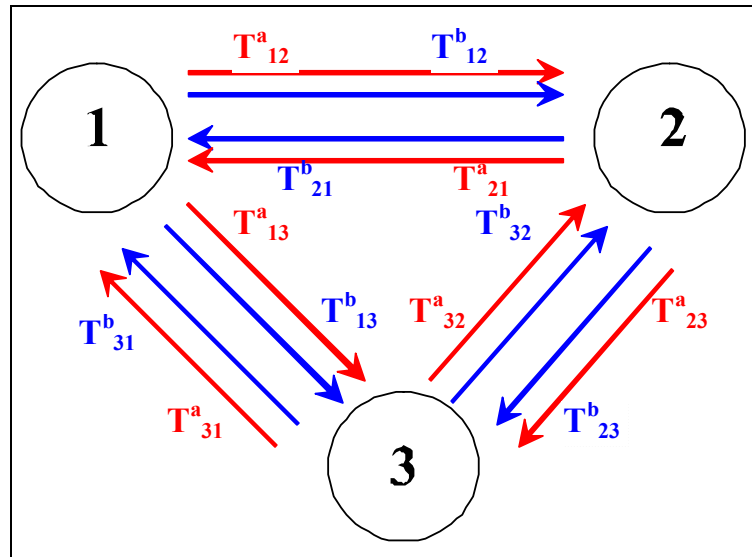


Figure 1.4 : Répartition modale des déplacements

### 1.1.4 Affectation

Nous allons maintenant finir avec la dernière phase qui est celle sur laquelle porte mon TFE. Nous nous y attarderons plus longuement que les autres, et nous présenterons les principaux modèles d'affectation.

Cette étape correspond au choix de l'itinéraire par l'individu pour réaliser son déplacement entre une origine et une destination avec un mode donné. Les matrices OD par mode résultant de la phase de partage modale sont les entrées de cette étape. Même s'il existe plusieurs types de modèles comme nous allons le voir, le déroulement général de cette étape reste le même. Dans un premier temps, il s'agit de calculer les temps généralisés de parcours pour aller d'une zone à une autre. Bien entendu il peut y avoir plusieurs itinéraires et suivant la nature du modèle un seul ou plusieurs pourront être considérés. Puis dans un deuxième temps l'ensemble des déplacements sera affecté sur les différents réseaux en fonction des temps généralisés trouvés précédemment. À chaque mode correspond un réseau, plus ou moins détaillé, modélisé sous forme de graphe linéaire, composé de noeuds (les carrefours, les arrêts TC...) et d'arcs orientés (les portions de voies, de lignes...). Toutefois dans l'immédiat je n'irais pas plus loin et préciserais ce point dans la partie 2.1. Finalement, les résultats de cette étape fournissent la charge de trafic sur chacun des tronçons du réseau ou sur chacune des lignes de transports collectifs. Cette étape fournit également un ensemble de plus courts chemins pour aller d'une origine à une destination. Une fois l'affectation achevée, une matrice origine-destination des coûts généralisés peut être définie en fonction des résultats de l'affectation. Or elle est nécessaire dans toutes les étapes précédentes. C'est pourquoi on commence par cette étape, sur la base de matrices origines – destinations issues d'enquêtes. Puis la matrice des coûts est utilisée pour les trois premières étapes grâce auxquelles on obtient une nouvelle matrice des déplacements, utilisée pour la dernière étape. On peut répéter l'opération jusqu'à obtenir un équilibre satisfaisant en termes de convergence en débit, en temps de parcours,



etc. Toutefois comme nous l'avons vu, les quatre étapes d'une modélisation en planification ne sont pas forcément toutes accomplies, leur mise en place étant un travail de longue haleine. Dans de nombreux cas, seul l'affectation est modélisée, sur la base d'une matrice origines – destinations de référence issue directement d'enquêtes ménages qui n'est alors pas modifiée.

Le principe de base de tous les modèles d'affectation est de considérer que l'individu cherche à minimiser le coût généralisé de son déplacement pour une origine-destination et un mode donné. Nous verrons les principes généraux de calcul du coût généralisé dans la partie 3.1.

Nous allons maintenant voir les différents modèles d'affectation qui peuvent être classés suivant deux dimensions :

- La procédure de choix de l'itinéraire : Il est possible de considérer que les individus perçoivent tous le coût d'un lien ou d'un itinéraire de manière identique (par le mot coût on désigne le temps généralisé). Ceci est bien entendu une hypothèse très forte et dans la réalité ce n'est bien entendu pas le cas. En effet la perception des différents éléments composant un trajet comme la marche à pied ou l'attente peut être différente d'un individu à l'autre. Ensuite les individus ne possèdent pas forcément des informations complètes sur tous les itinéraires. C'est pourquoi il est possible de définir une procédure de choix d'itinéraire probabiliste qui donnera une fonction de répartition des individus.
- La prise en compte des contraintes de capacité : Il est possible de considérer ou non la capacité d'un lien, la capacité étant le débit maximum que peut supporter un tronçon avant que celui-ci ne soit congestionné. Dans le cas où l'on choisit de ne pas la prendre en compte, il faut veiller à ce que le trafic ne devienne pas trop important. En effet dans ce cas les résultats peuvent être aberrants. Il est très rare de trouver des modèles d'affectation des transports en commun qui prennent en compte la contrainte de capacité. Les méthodes d'équilibre seront donc destinées à l'affectation du trafic voiture.

		Procédure de choix de l'itinéraire	
		Déterministe	Probabiliste
Contrainte de capacité	Non	Méthode tout-ou-rien ou plus court chemin	Procédure stochastique pure
	Oui	Méthode d'équilibre	Méthode d'équilibre avec utilité stochastique

Figure 1.5 : Classification des modèles d'affectation

Nous allons maintenant voir rapidement chacun des quatre types de modèles présents dans ce tableau.

#### 1.1.4.1 Affectation tout ou rien ou au plus court chemin

Il s'agit de la méthode la plus simple à mettre en place. Le principe de la méthode est contenu dans son nom. Le principe de ce type d'algorithme est d'affecter pour chaque origine-destination la totalité de la demande sur le chemin qui est le plus court (en terme de temps généralisé) et rien sur tous les autres chemins possibles.

Afin d'appliquer ce type de modèle, il est nécessaire de poser deux hypothèses :

- tous les individus perçoivent le coût d'un lien de manière identique. Cette première hypothèse a pour conséquence d'affecter le trafic sur le plus court chemin unique, même si la différence de coût est infime entre deux itinéraires ;

- le coût d'un lien est fixe et donc ne dépend pas de la charge de trafic qu'il supporte. Le coût d'un lien, qui est le temps généralisé mis pour le parcourir est calculé à partir du coût à vide du lien. Ainsi si cette hypothèse est acceptable pour les transports collectifs, pour la voiture son utilisation doit être restreinte à des réseaux non congestionnés.

Il existe plusieurs types d'algorithmes tout ou rien qui diffèrent notamment par leur ordre de sélection des nœuds à considérer à chaque itération et donc de ce fait par leur rapidité de convergence. Toutefois nous ne rentrerons pas dans des détails mathématiques dans cette partie, étant donné que je présenterais le détail de l'algorithme programmé par David Caubel dans la partie suivante.

Le principal problème de cette méthode d'affectation est de donner des charges de trafic pouvant largement dépasser les capacités de certains liens. De ce fait, cette méthode est utilisée principalement pour l'affectation en transports collectifs et très peu pour la voiture. De plus il se trouve que les résultats dépendent plus de la modélisation du réseau que pour d'autres types de modèles. En effet si deux itinéraires ont des coûts très proches sur une origine-destination, la modification du coût sur un lien peut faire basculer le plus court chemin sur l'autre itinéraire et donc toute la charge. Il est donc nécessaire de définir assez précisément la codification d'un réseau. Or ceci pose un problème lorsque l'on se trouve en phase de prévision car les caractéristiques du réseau sont basées sur des hypothèses et non des valeurs observées.

#### 1.1.4.2 Affectation multichemin

L'affectation stochastique est aussi appelée affectation multichemin, car pour ces modèles la première hypothèse du modèle d'affectation selon le plus court chemin est supprimée. Elle repose sur l'hypothèse que tous les individus ne perçoivent pas le coût d'un chemin de manière identique. En revanche, la seconde hypothèse émise pour l'affectation selon le plus court chemin subsiste : le coût d'un lien est fixe et donc ne dépend pas de sa charge. Le coût d'un lien est toujours calculé à partir du coût à vide du lien.

Pour tenir compte des différences de perception, on définit une loi de distribution autour d'une valeur moyenne qui est celle calculée par le modèle à partir de la description du réseau. Nous allons donc calculer une probabilité  $P(i,j,r)$  d'usage de la route  $r$  pour réaliser un trajet entre une origine destination  $i,j$ .

Les différentes méthodes d'affectation multichemin se distinguent principalement par quatre dimensions :

- la loi de distribution du terme d'erreur,
- le niveau auquel s'applique le terme d'erreur,
- la procédure de sélection des itinéraires,
- les points de choix de l'itinéraire.

On aura pu remarquer que ce type de modèle ne tient pas compte de la congestion. Ainsi même si l'affectation multichemin limite les risques d'une charge excédant fortement la capacité relativement à l'affectation tout-ou-rien, ces risques ne sont pas éliminés. Ainsi tout comme la méthode du plus court chemin, cette méthode n'est donc pas recommandée pour des réseaux routiers en situation de congestion. Toutefois ce n'est pas le type d'affectation qui nous intéresse et il se trouve que pour l'affectation TC ce type de méthode peut paraître plus pertinente que l'affectation au plus court chemin. En effet grâce à ces méthodes le trafic est réparti entre plusieurs chemins tout en conservant une attractivité accrue pour les chemins les plus courts. Bien entendu pour les méthodes multichemin, le temps de calcul de l'algorithme est rallongé.

Les deux dernières grandes familles de modèles prennent en compte la congestion. Toutefois il apparaît que les transports collectifs sont très peu soumis à ce genre d'aléas. C'est pourquoi ces méthodes sont réservées à des réseaux étant susceptibles d'être fortement congestionnés. Nous allons donc voir très rapidement le principe de ces modèles

### *1.1.4.3 Affectation à l'équilibre*

C'est pour répondre aux problèmes que pose la congestion, que les modèles que l'on range dans la famille des modèles à l'équilibre ont été développés. Le principe général de ces modèles est de prendre en compte la congestion à travers une définition du coût du lien en fonction de sa charge. C'est pourquoi l'ensemble de ces méthodes d'affectation est parfois également appelé affectation avec contrainte de capacité du fait de la relation entre le coût d'un lien et sa charge. Toutefois ce type de modèle peut également être considéré comme multichemin dans la mesure où dans le cas où un lien devient trop chargé, son coût deviendra excessif et à partir de ce moment là, d'autres itinéraires deviennent plus intéressants en terme de temps généralisé. Le principe des méthodes à l'équilibre est de faire en sorte que plusieurs itinéraires soient choisis pour une même origine-destination lorsque l'on rencontre des phénomènes de congestion, de telle sorte que ces itinéraires soient d'un coût comparable.

Bon nombre de modèles de cette famille repose sur le premier principe de Wardrop. La formulation de cette condition d'équilibre est la suivante : une affectation est à l'équilibre lorsque dans un réseau congestionné, toutes les routes utilisées sur une même origine-destination ont un coût équivalent et minimum tandis que toutes les autres routes possibles non utilisées ont un coût supérieur. Ainsi si cette condition n'est pas remplie, il existe au moins un conducteur qui a intérêt à changer d'itinéraire car il pourra trouver un itinéraire plus court. Lorsque l'équilibre est atteint aucun conducteur n'a intérêt à changer d'itinéraire, car dans ce cas il aurait un coût égal ou supérieur.

### *1.1.4.4 Affectation à l'équilibre avec utilité stochastique*

Le but de ce dernier modèle est bien entendu de proposer une affectation tenant compte des limites de charges mais également des différences de perception de l'utilité en fonction des individus. En reprenant le premier principe de Wardrop, une affectation à l'équilibre avec utilité stochastique repose sur les principes suivants : chaque usager choisit le chemin qui lui permet de minimiser le coût perçu. De ce fait, pour chaque usager le chemin choisi est celui qui présente le coût perçu le plus faible. On se trouve donc effectivement dans une situation d'équilibre puisque aucun conducteur n'a intérêt à changer d'itinéraire tout en respectant le principe de maximisation de l'utilité individuelle.

En théorie, les modèles répondant à ce principe sont particulièrement attractifs, puisqu'ils permettent d'abandonner les deux conditions restrictives (perception déterministe des coûts et non prise en compte de la charge dans la détermination des coûts) dont nous devons tenir compte dans les sections précédentes. Leur mise en œuvre est toutefois complexe et doit faire face à des problèmes pratiques. Le principal d'entre eux est le problème de convergence des algorithmes devant être mis en œuvre.

## **1.2 Exemple du modèle SIMBAD**

Une définition sommaire des objectifs du projet SIMBAD a déjà été vue en introduction. Nous allons revenir un peu plus longuement dans cette partie sur ses spécificités ainsi que sur son architecture afin de mieux situer la place de l'affectation dans la chaîne de calcul.

### 1.2.1 Spécificités du projet : SIMBAD, un modèle stratégique

Comme nous l'avons déjà dit l'objectif principal de SIMBAD est de tester différents scénarios d'évolution de dimensions en interaction au sein de la ville. Ces dimensions sont économiques, environnementales, sociales. Ce projet n'a donc pas pour objectif de mesurer l'impact d'un aménagement particulier mais bel et bien d'une politique d'agglomération. De plus il apparaît que la finalité n'est pas tellement de tester l'influence des politiques sur le fonctionnement des systèmes de transports (recherche de zones de congestion par exemple) mais plus leurs conséquences sur la mobilité des habitants de l'aire.

Le territoire d'étude sera l'aire urbaine lyonnaise, qui est représentée en fond gris sur la figure 1.6, la surface rouge constituant l'ensemble Lyon-Villeurbanne. Comme nous le verrons par la suite ce territoire est découpé assez finement. L'année référence du modèle est 1999 et l'horizon de prévision est de 25 ans soit 2025. Toutefois dans le cadre de mon TFE je limiterais mon étude à l'année 2001 car les données disponibles datent de cette année. Nous reviendrons dans la partie 2 sur la nature de ces données et la provenance de celles-ci. Nous avons donc décidé de commencer par tester les données de 2001 ce qui ne nécessitait pas de modification du réseau de transport modélisé.

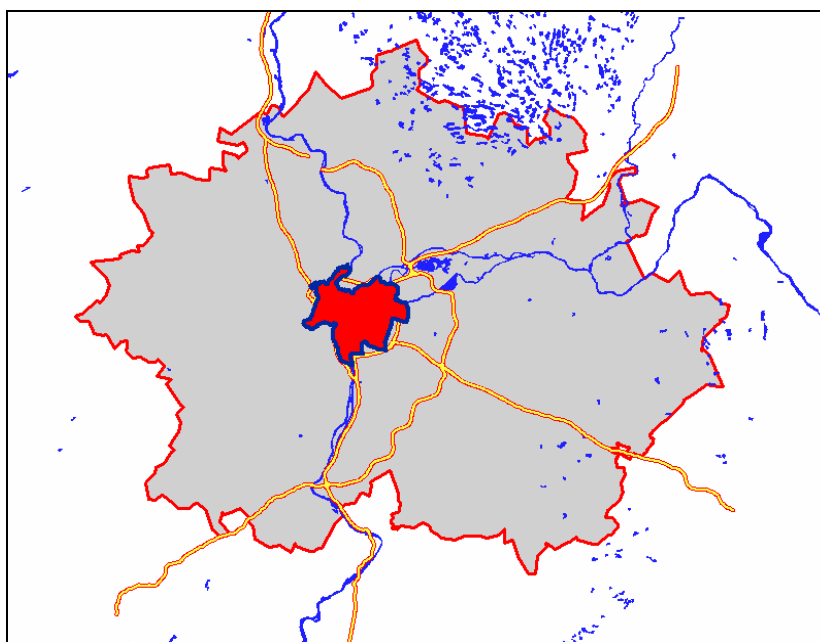


Figure 1.6 : Aire urbaine de Lyon (1990)

## 1.2.2 Architecture de SIMBAD

L'architecture du modèle SIMBAD se décompose en six grands blocs qui interagissent entre eux (figure 1.7):

- Les localisations :
  - des activités économiques,
  - des résidences des ménages ;
- la génération et la répartition des trafics :
  - de marchandise,
  - de personnes,
  - d'échange et de transit ;
- l'affectation des trafics sur les réseaux (qui est considéré comme un unique module):
  - de voirie,
  - de transports en commun

Le fonctionnement de ce modèle est le suivant :

Supposons qu'à une année  $i$  les localisations soient connues. A partir de ces localisations il est possible de connaître la demande de transport entre les différentes zones. Cette demande de transport concerne aussi bien les personnes que les marchandises. Cette demande est ensuite répartie temporellement sur une journée puis entre les modes pour les déplacements de personnes. Ensuite les flux de transit et d'échange sont introduits, même si ceux-ci représentent une part très réduite des déplacements. Une fois les matrices origines-destinations constituées pour chaque mode, la demande est affectée sur les réseaux. Cette affectation permet de déterminer l'accessibilité de chaque zone à partir de n'importe quelle autre zone et ce pour chaque mode et par période. Enfin l'itération se fait sur l'année  $i+1$  et les localisations sont modifiées par l'évolution de l'accessibilité.

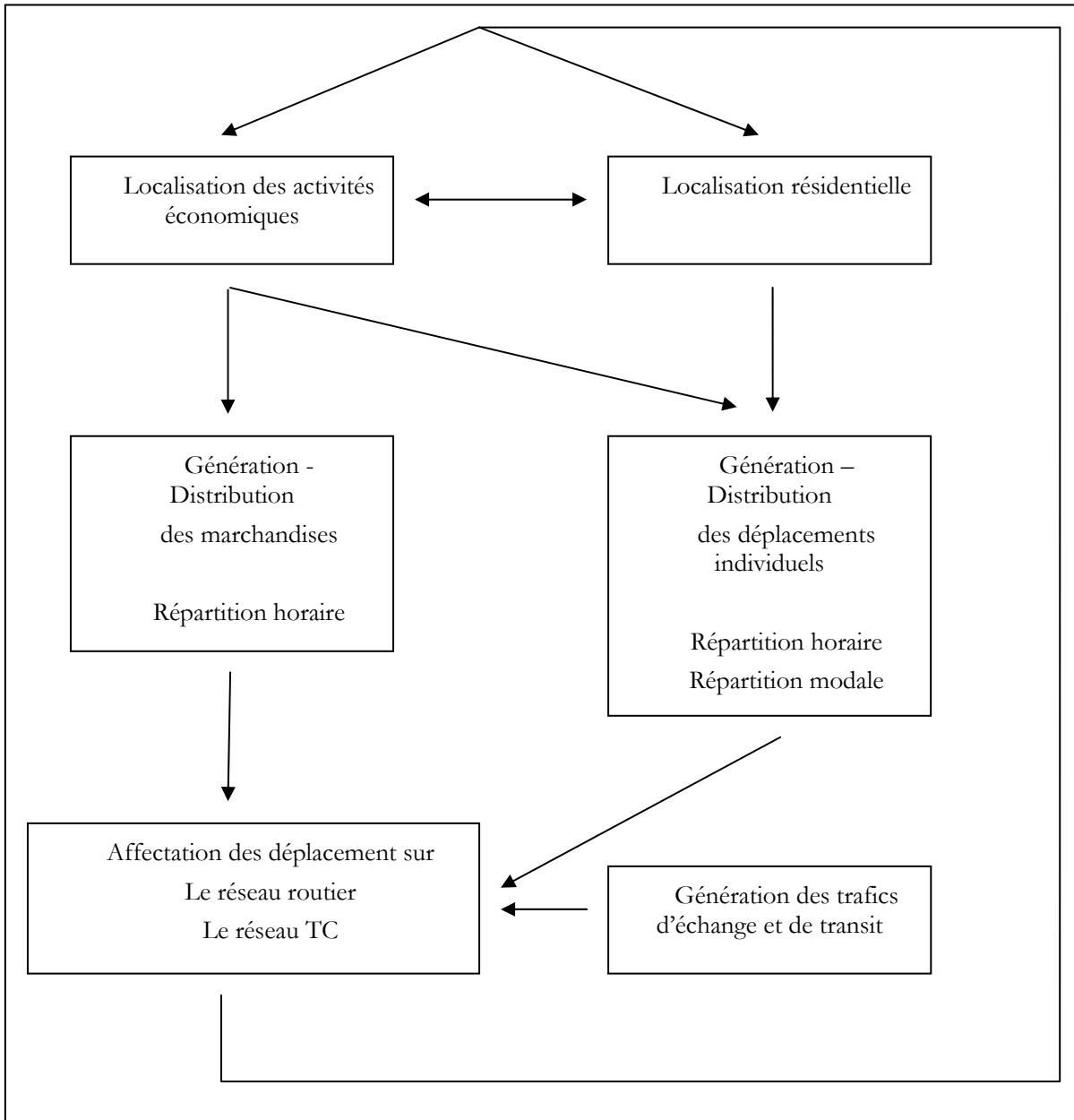


Figure 1.7 : Interaction entre les différents modules de SIMBAD (source LET)

Après cette rapide présentation il est plus facile de situer la place de l'affectation TC dans le processus global de prévision. Nous allons donc maintenant nous intéresser uniquement à cette étape en analysant la pertinence des données et de l'algorithme permettant de réaliser l'affectation TC.

## 2 DIAGNOSTIC DES DONNEES DU LET

La phase de récupération ou de création des données est hautement coûteuse en temps et en argent. C'est pourquoi il est nécessaire de cibler au mieux les nécessités pour la construction d'un modèle. Et aussi pourquoi il est à ce point intéressant de pouvoir compter sur des sources d'approvisionnement telles que peuvent l'être les SIG. Les données utilisées dans le cadre d'une modélisation des déplacements peuvent se diviser en trois catégories :

- utilisation du sol et des caractéristiques socio-économiques,
- demande de déplacement,
- caractéristiques des réseaux de transport.

Dans cette partie nous approfondirons le dernier type de données. Nous commencerons par des principes généraux sur la codification des réseaux que nous appliquerons à l'aire urbaine de Lyon. Nous insisterons tout particulièrement sur les données telles que la fréquence et la vitesse. Ensuite nous nous attarderons sur l'algorithme de plus court chemin programmé par David Caubel (2006) dans le cadre de sa thèse. Enfin nous terminerons par les méthodes de calcul des temps d'accès et d'attente à partir des données initiales.

### 2.1 Codification de l'Aire Urbaine de Lyon

#### 2.1.1 Périmètre et zonage de l'aire d'étude

Le choix du périmètre d'étude et du zonage est une opération très importante, car elle sert de base à l'ensemble des calculs opérés dans les quatre étapes que nous avons vues dans la partie précédente.

##### 2.1.1.1 *Le périmètre d'étude*

Lors du choix du périmètre d'étude, plusieurs points sont à prendre en compte :

- l'échelle à laquelle on souhaite travailler, ainsi il n'est pas nécessaire de considérer une agglomération en entier si l'on souhaite étudier l'impact d'une modification locale d'un réseau de transport;
- les données disponibles. En effet il ne sert à rien de prendre en compte une zone pour laquelle les données nécessaires ne sont pas disponibles ;

Une fois le périmètre d'étude déterminé, on postule que celui-ci évolue indépendamment de ce qui se passe à l'extérieur. On considère alors que le périmètre est un isolat.

Dans le cadre de mon TFE, le périmètre sur lequel je vais travailler est *l'Aire Urbaine de Lyon de 1999*

### 2.1.1.2 La définition du zonage

Une fois que l'on a choisi le périmètre d'étude, il faut maintenant découper celui-ci en zones. C'est ce que l'on appelle le zonage. Ainsi les données nécessaires à la modélisation sont agrégées. Ensuite pour chaque zone on crée un centroïde qui est un point fictif qui concentre l'ensemble des caractéristiques de la zone.

Tout comme le périmètre d'étude, le zonage doit tenir compte de contraintes :

- L'objectif de l'étude. Le zonage doit pouvoir répondre à l'objectif que l'on s'est fixé. La précision de celui-ci dépend donc des sorties qui sont attendues. C'est pourquoi l'identification au préalable des objectifs est fondamentale.
- La prise en compte des réseaux. Lors du zonage il convient de faire attention à ce que les zones respectent la structure du réseau. Ainsi il faut veiller comme on le verra plus tard à ce que les centroïdes ne soient pas trop éloignés des stations de transport en commun car ceci pénaliserait fortement ce mode. La taille des zones est souvent également inversement proportionnelle à la densité de l'offre en transport.
- Les données disponibles. Comme pour le périmètre il ne sert à rien de créer un zonage trop précis si l'on ne dispose pas des informations correspondant à chacune des zones.

Nous voyons donc qu'il faut essayer de tenir compte de ces différentes contraintes et essayer de trouver un compromis.

Dans le cadre de sa thèse, David Caubel (2006) a choisi d'utiliser un zonage respectant les IRIS donnés par l'INSEE.

Les Ilots Regroupés pour l'Information Statistique (IRIS) sont les découpages de base en matière de diffusion des données locales. La France est découpée en environ 50800 IRIS. Pour les petites communes (34800), l'IRIS correspond au territoire de la commune. Puis la plupart des communes de plus de 5000 habitants, sont découpées en IRIS 2000. Les IRIS 2000 forment « un petit quartier » qui se définit comme un ensemble d'ilots contigus. Il y a 3 types d'IRIS 2000 :

- Les IRIS d'habitat, qui sont des zones dont la population se situe entre 1 800 et 5 000 habitants et qui sont homogènes quant au type d'habitats ;
- Les IRIS d'activité, qui sont des zones qui regroupent plus de 1 000 salariés et comptent deux fois plus d'emplois salariés que de population résidente;
- Les IRIS divers, qui sont des zones de superficie importante à usage particulier (bois, parcs, zones portuaires...).

Ainsi l'Aire Urbaine Lyonnaise a été découpée en 777 zones correspondant aux 777 IRIS inclus dans l'aire urbaine.

## 2.1.2 Codification du réseau TC de l'aire d'étude

La description d'un réseau de transport pour les besoins d'un modèle de prévision nécessite la description de sa structure géographique (des intersections, voies...), des propriétés de ses différents composants (longueur, vitesse...) ainsi que des relations entre ces éléments et les flux de véhicules.

La description d'un réseau s'appuie sur la théorie des graphes. Nous allons faire un retour sur cette théorie avant de présenter le travail de codification déjà réalisé au sein du LET.



### 2.1.2.1 Retour sur la théorie des graphes

Soit un graphe  $G$ . Alors ce graphe  $G = (X, U)$  est déterminé par :

- Un ensemble  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  dont les éléments sont appelés sommets ou nœuds ;
- Un ensemble  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  dont les éléments sont appelés arcs.  $U$  est un sous-ensemble de  $X \times X$ .

Pour tout arc  $u_k$  il existe un couple  $(i, j)$  tels que  $u_k = (x_i, x_j)$ .

Toutefois dans le cas d'un graphe appliqué à un réseau de transport on est souvent amené à utiliser des graphes particuliers.

Ainsi il est possible de définir  $G$  comme étant un graphe orienté. A ce moment là, les arcs sont orientés c'est-à-dire que  $U$  est défini par une paire ordonnée de sommets. Pour un arc  $u_k = (x_i, x_j)$  on dit que l'arc va de  $x_i$  à  $x_j$ .

$G$  est appelé un graphe connexe si et seulement si il existe un chemin entre chaque paire de sommet  $(x_i, x_j)$ .

Après ce petit rappel nous allons voir comment est appliquée cette théorie dans le cadre la codification des réseaux. Les réseaux de transport collectifs sont la somme de trois composants : les nœuds, les liens, les lignes TC. Or les nœuds et les liens sont également décrits pour le réseau routier. Ce n'est qu'une fois que ces deux composants ont été créés que les lignes TC viennent se superposer.

### 2.1.2.2 Les nœuds

On distingue deux types de nœuds : les centroïdes de zone et les nœuds de réseau.

Comme nous l'avons vu, le centroïde de zone est un point fictif ne possédant par réellement de position géographique. Il existe un seul centroïde par zone. Par soucis de visibilité on le place couramment au centre de gravité de la zone mais la plupart du temps, cela n'a aucune incidence sur les calculs. Toutefois nous allons voir un peu plus loin (2.2.1) que dans notre cas, la localisation du centroïde a une importance toute particulière.

Les nœuds du réseau quant à eux correspondent à des intersections entre des liens de réseau. Ils permettent d'assurer la connexité du réseau. Dans le cas d'un réseau très précis les nœuds correspondent aux carrefours du réseau viaire. Ceci n'est plus vrai pour un réseau simplifié où le nœud de réseau n'a pas forcément une traduction physique directe.

### 2.1.2.3 Les liens

On peut également distinguer deux types de liens : le connecteur de centroïde et le lien de réseau.

Le connecteur de centroïde est un lien fictif qui assure la liaison entre le centroïde de zone et le reste du réseau. Sa fonction est d'assurer la connexité du graphe de sorte que tous les centroïdes soient reliés au réseau par au moins un connecteur. Un centroïde peut être connecté au réseau par plusieurs connecteurs de centroïde. Les attributs des connecteurs sont principalement le temps nécessaire à leur parcours ou bien leur longueur et la vitesse de parcours.

Le lien de réseau correspond aux infrastructures de transports. La traduction peut être très proche de la réalité du réseau dans le cas d'une description fine du réseau ou s'en éloigner pour traduire davantage les fonctionnalités que les caractéristiques physiques dans le cas d'un réseau plus agrégé. Le lien est doté d'un certain nombre d'attributs permettant de calculer le coût, ou le temps généralisé, nécessaire pour parcourir le lien. Voici les attributs les plus couramment renseignés :

- la longueur du lien ;
- la vitesse à vide du lien (c'est-à-dire la vitesse en l'absence de toute circulation sur le lien) ;
- la capacité du lien dans le cas où l'on utilise un modèle d'affectation à l'équilibre ;
- la tarification du lien qui permet de prendre en compte le péage, mais pas le coût d'usage.

La codification des nœuds et des liens de réseau a été réalisée sous le logiciel SIG GEOCONCEPT© grâce aux fonds de cartes numérisés des réseaux routiers BDCARTO© et GEOROUTE©. Les fonds de carte des réseaux routiers donnent les identifiants des nœuds et des arcs routiers. Dans le cas de la codification réalisée au sein du LET, les arcs sont orientés et ainsi pour des voiries à double sens il est nécessaire de créer deux arcs.

#### 2.1.2.4 Les lignes TC

La description du réseau de transports collectifs est de nature différente de celle du réseau viaire. En effet un déplacement sur un réseau de transport collectif est beaucoup plus contraint qu'un déplacement en voiture particulière car le réseau est composé de lignes. De ce fait le passage d'une ligne à une autre génère un coût supplémentaire qui n'a pas d'équivalent pour la voiture. C'est pourquoi il est nécessaire de superposer au graphe du réseau voiture dont nous avons parlé ci-dessus, une description des lignes de transports collectifs. Pour chaque ligne, cette description consiste en une succession de nœuds de réseau correspondant à des stations d'arrêt. Selon le niveau de précision que l'on souhaite, il est possible de conserver tous les arrêts ou de regrouper certains.

Le graphe support du réseau TC est généralement le graphe du réseau viaire. Cependant pour les modes de transport en site propre comme le métro ou le tramway, il peut être nécessaire d'ajouter des nœuds et des liens supplémentaires.

Une ligne de transports collectifs peut être dotée des attributs suivants :

- la fréquence ou le nombre de services par heure. Ces caractéristiques permettent de calculer le temps d'attente à un arrêt de transport. Toutefois nous reviendrons plus en profondeur sur cette donnée par la suite ;
- la capacité de la ligne qui correspond en général à la capacité du véhicule. Cette information n'est toutefois pas toujours nécessaire si l'on ne prend pas en compte d'éventuels retards face à une capacité insuffisante de la ligne ou le temps nécessaire à l'arrêt pour assurer la montée des clients ;
- la vitesse de la ligne est parfois spécifiée directement au niveau de la ligne et non des liens. Cet attribut n'est généralement défini que pour des lignes en site propre intégral pour lesquelles la vitesse est uniforme sur toute la ligne et peut être garantie indépendamment des conditions de circulation. Tout comme la fréquence nous reviendrons sur le problème de la vitesse par la suite.

Il se peut que des lignes TC empruntent un tronçon commun. Ceci peut poser des problèmes. La solution est en général la création d'une ligne fictive sur l'ensemble de l'itinéraire commun aux lignes de transports collectifs. A ce moment là, la principale difficulté réside dans la définition des attributs de cette ligne fictive. Les attributs problématiques étant la fréquence et la vitesse. Nous aborderons ces questions dans les paragraphes suivants.

Nous avons vu que les centroïdes étaient rattachés au réseau viaire par des connecteurs. Il en est de même pour le réseau des transports en commun. En effet le temps d'accès au réseau n'est pas de même nature pour la voiture et pour les transports collectifs. L'accès aux transports collectifs nécessite en général un temps de marche à pied alors que l'accès au réseau viaire se fait en voiture. Comme nous allons le voir plus loin, le temps de marche est généralement affecté d'un coefficient pondérateur au moins égal à deux pour traduire la pénibilité relative de la marche par rapport au temps en véhicule. Il est donc important de définir assez précisément ce temps de parcours à pieds car une mauvaise détermination des temps d'accès pourrait avoir des conséquences assez importantes sur les choix des itinéraires.

Passons maintenant à la numérisation des réseaux de transport collectif réalisée au sein du LET par D.Caubel (2006). Cette numérisation s'appuie sur le réseau viaire comme nous l'avons vu et les plans des lignes de transports collectifs de l'année 2001. Il a été créé une ligne par sens de circulation. 1876 stations d'arrêt des transports collectifs ont ainsi été géolocalisées. Pour chaque arrêt un point numérique est créé le long des axes routiers. Lorsque plusieurs lignes de transports publics partagent un arrêt une station fictive commune à toutes ces lignes est créée. Toutefois pour les plateformes intermodales comme la Part dieu ou Perrache plusieurs arrêts ont été géolocalisés, généralement un par mode de transport en commun. Ces différents arrêts sont reliés entre eux grâce à des liens de marche à pied. Puis 4290 arcs de lignes ont été créés. Pour les lignes de bus ou de tramway, les arcs de ligne suivent le tracé des voies routières entre deux arrêts successifs. Les lignes de métro quant à elles sont représentées par des arcs de ligne rectilignes entre les différentes stations qui avaient pu être modélisées. Des lignes fictives ont également été créées et nous allons voir comment ont été traitées les difficultés que cela peut poser. On pourra tout de même remarquer que le zonage et la description sont tout les deux en cohérence dans le sens où ils possèdent tout les deux une grande précision.

### 2.1.3 Fréquence des lignes

Comme nous l'avons vu les fréquences sont des données majeures, permettant de calculer les temps d'attente. Il existe plusieurs formulations du temps d'attente des passagers à une station en fonction de la fréquence suivant que l'on considère que les arrivées des usagers sont aléatoires (intervalles faibles entre deux véhicules) ou dépendantes des horaires de passage (intervalles élevés entre deux véhicules). Cependant nous reviendrons sur ces formules dans la partie sur le calcul des différents temps.

Nous allons maintenant voir comment a été réalisée la saisie des données de fréquence par D.Caubel (2006) et notamment comment le problème des lignes fictives a été traité. Les données permettant de renseigner la fréquence sont issues du guide du réseau de 2001 [SYTRAL, 2001], qui permet d'obtenir les fréquences de toutes les lignes du réseau TCL à l'heure de pointe du soir. Bien entendu lorsqu'une seule ligne emprunte un arc, l'affectation de la fréquence ne pose pas de problème. Par contre il se peut comme dit précédemment que plusieurs lignes empruntent le même tronçon. A ce moment il n'est plus possible d'affecter aux différentes lignes de bus circulant sur ce tronçon des fréquences différentes. C'est pourquoi David Caubel a choisi d'affecter à la ligne fictive une fréquence moyenne à l'heure de pointe du soir. Le calcul est précisé ci après :

Pour un arc A sur lequel circulent N lignes de transports avec une fréquence  $F_i$  ( $i=1 \dots N$ )

$$1/F_A = \sum 1/F_i$$

Toutefois le calcul de la fréquence sur les lignes fictives pose des difficultés et peut prêter à discussion. En effet cette formule suppose une arrivée régulièrement répartie dans le temps des

différents véhicules circulant sur un tronçon commun. Or en réalité la coordination des lignes n'existe pas forcément ou n'est pas parfaite. De plus, certaines lignes peuvent être plus attractives que d'autres conduisant certains usagers à laisser passer un bus pour prendre le suivant jugé plus confortable. Il semble donc que le mode de calcul adopté pour la réalisation des données dont je dispose, aboutisse à une minimisation du temps d'attente.

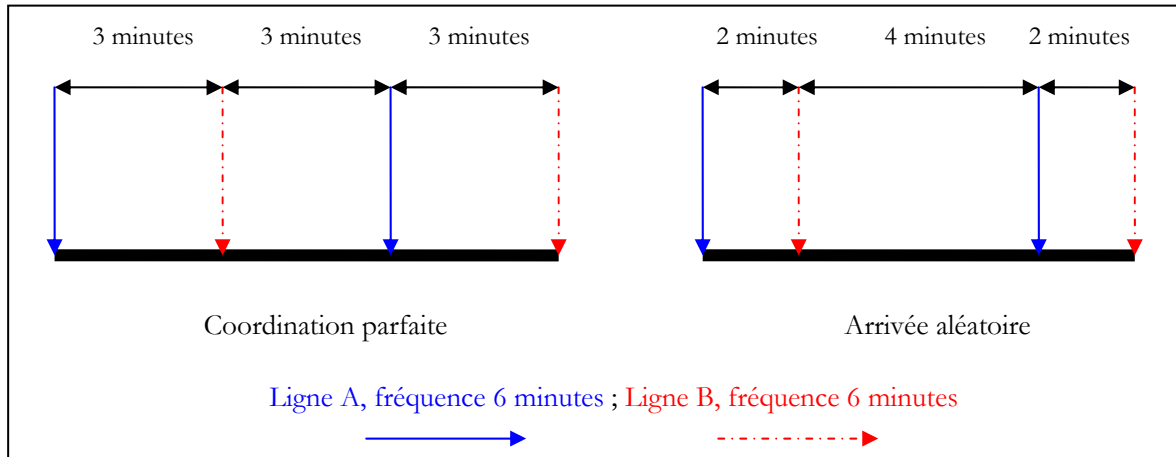


Figure 2.1 : Exemple de problème de régularité

L'agrégation de plusieurs lignes peut également poser des difficultés lors du calcul des différents indicateurs de fréquentation. En effet si l'on souhaite calculer une fréquentation par ligne, il est nécessaire de sommer les montées aux différentes stations. Or lorsque des lignes possèdent un tronçon commun, il est impossible de savoir par définition de la ligne fictive quelle ligne réelle est empruntée. Il n'est donc pas aisé de savoir quelle valeur affecter à chaque ligne. L'exemple de la figure 2.2 illustre le problème posé par les lignes fictives :

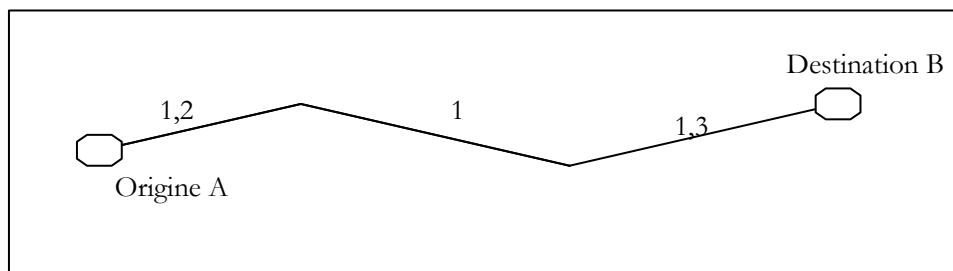


Figure 2.2 : Problème d'affectation des passagers sur les lignes fictives

Dans ce cas le trajet entre l'origine et la destination est direct. On peut voir que la ligne qui sera employée en réalité sera la ligne 1, même si les lignes fictives [1,2] et [1,3] sont utilisées dans le modèle. Or cette situation pose plusieurs problèmes. En effet d'un côté le temps d'attente est minimisé car il correspond au temps d'attente de la ligne [1,2] qui est inférieur à celui de la ligne 1. Ensuite ce cas peut être gênant pour l'obtention des fréquentations car il est nécessaire de programmer un algorithme qui reconnaisse que dans ce cas, la demande de l'origine destination AB doit être affectée entièrement à la ligne 1 et non répartie entre les lignes 1,2,3.

## 2.1.4 Vitesses des véhicules

Nous allons évoquer dans cette partie la codification des vitesses sur les lignes. A chacune des lignes TC sont affectées les vitesses commerciales de 2000 fournie par la Société Lyonnaise des Transports en Commun. Tout comme précédemment pour les fréquences, sur tous les arcs où circule une seule ligne de transport, sont appliquées les vitesses commerciales des fiches horaires de la SLTC.

Toutefois dans le cas où plusieurs lignes emprunteraient un même arc, la vitesse affectée est la vitesse commerciale la plus contraignante de ces lignes. C'est donc la vitesse commerciale minimale qui est retenue.

Pour les lignes de bus en site propre, de tramway ou de métro, la circulation des véhicules n'est pas impactée directement par le trafic automobile. Par contre il n'en va pas de même pour les lignes classiques de bus qui sont confrontées aux aléas de la circulation automobile. Dans ces conditions bien entendu un bus ne peut avoir une vitesse supérieure à celle des automobiles. C'est pour cette raison que David Caubel a comparé les vitesses commerciales des lignes de bus avec celles des voitures particulières à l'heure de pointe du soir pour chaque arc A (nous évoquerons dans l'annexe B le calcul des vitesses des voitures particulières à l'heure de pointe). Deux cas de figure peuvent alors se présenter :

- $V_{TC} > V_{VP}$  : La vitesse des transports collectifs est supérieure à celle de la voiture, et de ce fait les véhicules de transport en commun sont contraints par la circulation automobile. Dans ce cas la vitesse affectée à l'arc de ligne de transport en commun est la vitesse automobile renseignée sur ce même tronçon

$$V_A = V_{VP} \text{ (} V_A \text{ étant la vitesse en transport collectif affectée à l'arc A)}$$

- $V_{TC} < V_{VP}$  : La vitesse des transports collectifs est inférieure à celle de la voiture et donc là les bus ne sont pas gênés par la circulation routière. C'est pour cela qu'à ce moment là on garde la vitesse en transports publics affectée à l'arc de ligne

$$V_A = V_{TC}$$

Contrairement aux fréquences, les liens fictifs ne posent pas particulièrement de problèmes par rapport aux arcs sur lesquels une seule ligne circule. En effet on peut penser que les vitesses des différentes lignes sont les mêmes sur un tronçon donné. Par contre la principale discussion vient cette fois-ci des données de base. Les vitesses données sont les vitesses commerciales moyennes pour chaque ligne. Or il est aisé de comprendre, que suivant la section sur laquelle circule un véhicule de transport en commun, cette vitesse sera différente. En centre ville les vitesses seront certainement plus faibles qu'en zones périphériques. De façon similaire, les vitesses des véhicules en site propre comme les métros ou les tramways peuvent varier en fonction des distances inter stations, même si les variations sont moindres.

Ce sont pour ces raisons qu'il serait souhaitable de reprendre la saisie des données. Il serait possible de rentrer directement les temps de parcours entre chaque arrêt, à partir des fiches horaires de Keolis Lyon pour l'année 2001. Les vitesses ne seraient donc plus nécessaires. Toutefois cela n'a pas été possible dans le cadre de mon TFE, n'ayant pu obtenir de la part de Keolis, l'exploitant du réseau de transport en commun de l'agglomération, les données requises. Il faudra donc garder en tête lors de l'analyse des résultats que ces simplifications peuvent avoir un impact.

## 2.2 Calcul des composantes du temps de parcours

Après avoir vu la façon dont avaient été saisies les données de bases, nous allons voir comment sont calculées les différentes composantes du temps de parcours que sont les temps d'accès initiaux et les temps d'attente.

## 2.2.1 Temps d'accès initiaux

Afin de calculer les itinéraires de zone à zone, chaque centroïde d'IRIS est rattaché à la station d'arrêt de transport en commun la plus proche à vol d'oiseau. Ensuite le temps d'accès jusqu'au réseau à partir de n'importe quel centroïde est trouvé très simplement en divisant la distance parcourue à pied par la vitesse de marche à pied. La valeur de cette vitesse est demandée dans une boîte de dialogue lorsque l'on démarre le programme. Toutefois si un centroïde est trop éloigné des arrêts, David Caubel a posé pour hypothèse que les déplacements en transports collectifs étaient impossibles depuis cette zone. Il convient donc de prendre une distance suffisamment grande, tout en gardant en tête que plus la distance d'accrochage limite des centroïdes sera importante, plus le temps de calcul des plus courts chemins sera long. En effet une augmentation de la distance se traduit par la hausse du nombre de nœuds pris en compte dans les calculs. L'accroche des centroïdes de zone à une station de transport en commun a pour but de réduire la quantité de calcul. En effet dans ce cas de figure calculer les plus courts chemins d'un centroïde à un autre revient à calculer les plus courts chemins entre les stations auxquelles sont rattachées les centroïdes.

Cependant ce principe pourrait conduire à des erreurs. Il est tout à fait possible en appliquant cette méthode de trouver un temps total de déplacement de centroïde à centroïde qui ne soit pas le plus court en temps. En effet comme on peut le voir sur le schéma 2.3, il est envisageable de trouver un trajet de centroïde à centroïde moins long en temps que celui trouvé par l'algorithme. Sur le schéma c'est le cas du trajet passant par les arrêts A2 et B2. Car même si les déplacements piétons sont plus longs en durée, finalement le temps en véhicule est suffisamment plus faible pour compenser la pénalité due aux déplacements initiaux.

Afin de résoudre ce problème il serait envisageable de comparer la somme du temps de marche initial et du temps d'attente au lieu de comparer simplement les temps de marche à pieds initiaux. Mais cette méthode pose des problèmes car elle est applicable pour l'accroche des centroïdes à l'origine mais pas à destination car à ce moment là il n'y a plus de temps d'attente. Elle serait donc difficile à mettre en place. C'est pourquoi nous verrons dans la partie 3.2 le système que nous avons appliqué.

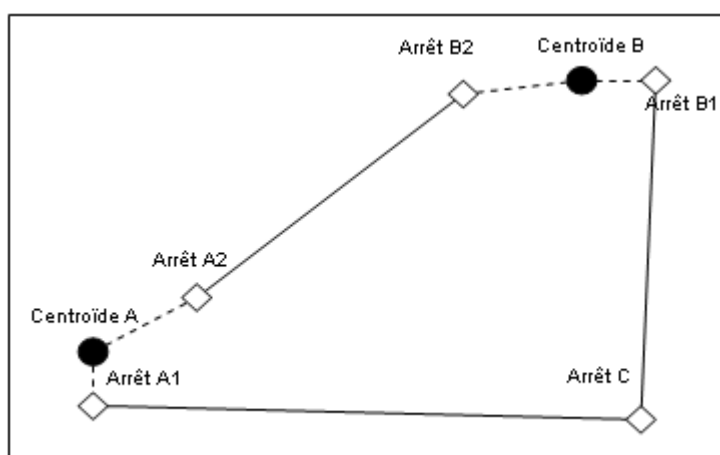


Figure 2.3 : Exemple de problème d'accrochage d'IRIS

### 2.2.2 Temps d'attente :

Comme nous allons le voir, l'algorithme tient compte des ruptures de charge, qui sont dues aux changements de ligne ou de mode de transport en commun. Ainsi les temps de correspondance sont intégrés dans les temps de déplacements de la station d'origine jusqu'à la station de destination. Ces temps de correspondance correspondent à la moitié de la fréquence de l'arc qui est issu de l'arrêt où à lieu le changement et sur lequel le déplacement va continuer. Il a donc utilisé une formulation de la SEMALY avec un coefficient de régularité  $\alpha$  valant 0,5

Cependant il est possible de discuter le choix de la valeur du temps d'attente. En effet il est nécessaire de tenir compte de l'irrégularité des services. En supposant une arrivée aléatoire, la SEMALY dans son logiciel TERESE propose, pour des intervalles suffisamment faibles, un calcul du temps d'attente =  $aI$ , où  $I$  est l'intervalle moyen entre deux véhicules et  $a$  un coefficient de régularité qui varie entre 0,5 (régularité parfaite, dans la pratique cette valeur n'est jamais choisie) et 0,8 (pour des services peu réguliers). C'est la solution que D.Caubel a retenue avec un coefficient de régularité de 0,5, car il ne disposait pas d'informations permettant de choisir une valeur différente. Toutefois cette valeur peut paraître discutable, notamment aux heures de pointe où la régularité des véhicules est très variable. De plus pour des intervalles de passages plus longs on peut penser que le temps d'attente n'augmentera plus de façon linéaire et sera borné. En effet à ce moment là les usagers ont connaissance des horaires et ainsi leur temps d'attente est borné, l'arrivée aléatoire n'est plus pertinente.

## 2.3 Algorithme de recherche du plus court chemin

Bien que l'algorithme ne soit pas une donnée, j'ai choisi de le présenter dans cette partie car il exploite les données évoquées précédemment.

L'algorithme développé par David Caubel afin de réaliser la recherche des plus courts chemins est un algorithme de Dijkstra modifié pour tenir compte des ruptures de charge. Les algorithmes d'affectation TC sont différents de ceux appliqués à la voiture particulière dans le sens où la prise en compte des ruptures de charge est primordiale. Ce n'est bien entendu pas le cas de la voiture pour laquelle le transport se fait obligatoirement dans le même véhicule. Afin de vérifier ceci, D.Caubel a mis en œuvre un algorithme tenant compte des ruptures de charge et un autre n'en tenant pas compte. Les résultats en matière de temps de parcours présentent des différences significatives de l'ordre de + 33% avec rupture de charge.

L'algorithme développé est un algorithme itératif qui met à jour à chaque étape la liste des stations dont le temps d'accès à partir d'une station a déjà été calculé. Ainsi à chaque nouvelle itération l'algorithme choisit dans la liste des noeuds non traités celui qui se situe le plus près en terme de temps de parcours du dernier sommet à avoir été ajouté et cette station est ensuite mise dans la liste. Voici de façon plus précise le fonctionnement de l'algorithme.

Supposons que le réseau de transport en commun forme un graphe connexe défini par un ensemble de couple  $(A_i, S_i)$  où les  $A_i$  sont les arcs de ligne de transports collectifs et les  $S_i$  sont les stations de transports collectifs correspondant au sommet de ces arcs.

On attribue à chaque sommet  $S_i$  le couple  $(T(S_i), p(S_i))$  où  $T(S_i)$  est le temps de parcours entre un sommet initial  $S_0$  et le sommet (ou la station)  $S_i$  et où  $p(S_i)$  est le prédécesseur du sommet  $S_i$  dans l'itinéraire entre le sommet initial et le sommet  $S_i$  (à cette étape  $p(S_i)$  est donc  $S_0$ ). On affecte également à  $S_i$  la liste  $B(S_i)$  des lignes de transports en commun passant par ce sommet.

Enfin on note  $R$  l'ensemble des sommets  $S_i$  dont le plus court chemin à partir du sommet  $S_0$  a déjà été calculé et réciproquement  $R'$  l'ensemble de ceux dont ce n'est pas le cas.

- Initialisation de l'algorithme

Soit  $S_0$  un sommet initial qui est une station à laquelle est accroché un centroïde d'IRIS. On attribue au sommet initial le couple  $(0,0)$  et on l'ajoute à  $R$ , ainsi  $R = \{S_0\}$ .

- Etape N

Supposons que  $k$  sommets aient déjà été traités et aient ainsi été ajoutés dans  $R$ . On dispose donc des plus courts chemins pour aller du sommet initial  $S_0$  jusqu'à chacun de ces  $k$  sommets.

L'algorithme va maintenant rechercher quel est le sommet qui appartient à  $R'$  et qui possède le temps de parcours provisoire le plus petit parmi les sommets appartenant à  $R'$ . Nous appellerons ce sommet  $P$ . Ainsi  $P$  est ajouté à  $R$  et donc enlevé de  $R'$ .

Puis l'algorithme recherche tous les successeurs de  $P$  qui sont dans l'ensemble  $R'$  et pour chacun de ces sommets  $F_k$  les termes suivants sont comparés:

- $\text{tps}(F_k)$  qui était le temps provisoire de  $F_k$  calculé avant cette étape ( ce temps pouvant être initialisé avec la valeur par défaut de 999 s'il n'est pas encore calculé).
- $T = \text{tps}(P) + \text{tps}(P, F_k) + A(P, F_k)$ , où  $\text{tps}(P, F_k)$  est le temps en véhicule pour aller de  $P$  à  $F_k$  et  $A(P, F_k)$  est le temps d'attente en  $P$ , dans le cas où il y a rupture de charge pour se rendre en  $F_k$ .

Dans le cas où  $\text{tps}(F_k) < T$ , la valeur  $\text{tps}(F_k)$  est conservée.

Par contre si  $\text{tps}(F_k) > T$  alors à ce moment là on attribue au sommet  $F_k$  le couple  $(T, P)$

Finalement l'algorithme s'arrête lorsque l'ensemble  $R'$  est vide. A ce moment là nous disposons des temps de parcours minimaux pour aller du sommet  $S_0$  à n'importe lequel des autres sommets du réseau. Il faut donc appliquer cet algorithme à tous les sommets initiaux qui sont accrochés à des centroïdes.

Après analyse du fonctionnement de l'algorithme, il semble que celui-ci présente quelques problèmes au niveau de la recherche des plus courts chemins, cette recherche n'étant pas exhaustive. Nous allons illustrer ce problème par un exemple :

Soit  $S_0$  un sommet initial. Supposons que le sommet  $A$  ait déjà été traité et ajouté à l'ensemble  $R$ . Supposons que son prédécesseur est  $P$ , ce qui signifie que le plus court chemin pour aller jusqu'à  $A$  à partir de  $S_0$  est  $S_0P+PA$  et non  $S_0B+BA$ . Ensuite lorsque l'on recherchera les successeurs de  $A$ , le seul temps considéré sera  $\text{tps}(A)+A(A,C)+\text{tps}(A,C) = 25 + 1 + 5 + 2$ . Or sur l'exemple le chemin passant par  $B$  puis par  $A$  et par  $C$  possède un temps de parcours plus faible ( $= 25 + 3 + 2$ ). En effet par définition des plus courts chemins, le chemin le plus court en temps pour aller de  $S_0$  à  $A$  passe par  $P$  et non par  $B$ . Par contre dans ce cas, il existe une ligne directe qui passe par  $B$  puis par  $A$  et ensuite  $C$ , alors qu'il y a un changement en  $A$  pour aller de  $P$  à  $C$ . Or comme nous l'avons dit seul le chemin de  $S_0$  à  $P$  puis de  $P$  à  $C$  sera considéré ce qui peut conduire à une non prise en compte d'un chemin plus court et à des erreurs.



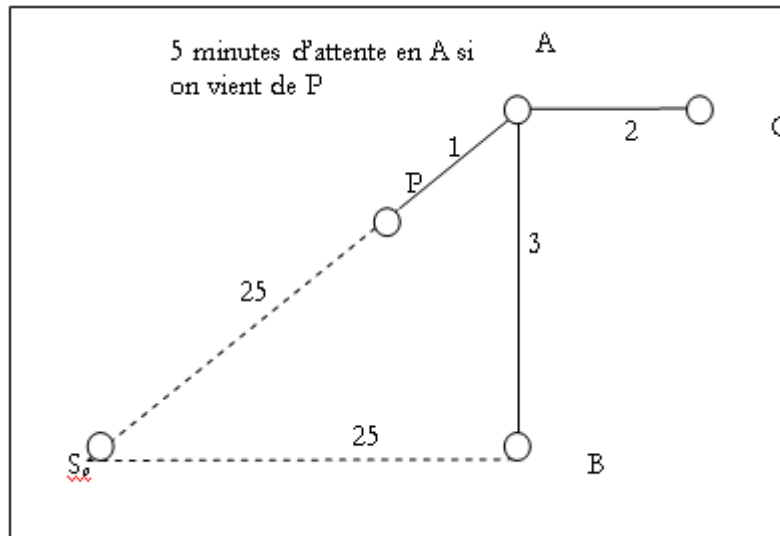


Figure 2.4 : Exemple de non prise en compte d'un plus court chemin

Du fait de cette non exhaustivité, il est donc nécessaire de considérer la mise en place d'un autre algorithme tout ou rien adapté au transport en commun.

Finalement après analyse de la codification du réseau de transport en commun, il apparaît que la façon dont le temps a été abordé n'est pas entièrement satisfaisante pour l'utilisation souhaitée des données. En effet le calcul des temps d'attente ainsi que le système d'accrochage des centroïdes est un peu approximatif. De plus l'algorithme de recherche de plus court chemin présente des défauts et ne permet pas une exploration complète de tous les chemins. Ainsi nous allons voir s'il est possible de modifier l'algorithme de recherche des chemins. Il semble également nécessaire de créer une variable supplémentaire qui est le temps généralisé du déplacement, qui permettra de tenir compte de la perception des usagers.



## 3 ETUDE DES ADAPTATIONS APORTEES

Après le diagnostic des données que nous avons pu dresser précédemment nous allons voir dans cette partie les modifications qui ont été apportées aux données et à l'algorithme. Une nouvelle variable qui est le temps généralisé a tout d'abord été considérée. Ensuite nous verrons que des changements ont été apportés au système d'accrochage ce qui a pour effet de rendre la recherche des plus courts chemins plus exhaustive. Enfin je présenterais les modifications apportées au programme afin d'obtenir des données que nous comparerons aux sorties du modèle TERESE dans la partie suivante. Je tiens à ajouter que pour réaliser les modifications j'ai travaillé en collaboration avec David Caubel.

### 3.1 Mise en place du temps généralisé

Afin de calculer les itinéraires au sein d'un réseau il est nécessaire de disposer de leur temps de parcours.

Ainsi il est possible de calculer un temps réel comme D.Caubel (2006) l'avait fait et qui sera la somme des termes suivants :

- Le temps de parcours en véhicule,
- Le temps d'accès au réseau à pied, à l'origine et à la destination,
- Le temps d'attente.

Il s'agit donc du temps effectif mis par l'utilisateur pour parcourir son itinéraire.

Cependant cette notion de temps réel est insuffisante pour le calcul des itinéraires de plus court chemin. En effet elle ne prend pas en compte certains paramètres non quantifiables qui sont de nature psychologique, comme par exemple la perception du confort ou du temps. Or il apparaît que ces paramètres rentrent réellement en compte lors du choix des voyageurs concernant la (ou les) ligne(s) qu'ils vont emprunter. Ainsi nous avons décidé de calculer les itinéraires de plus court chemin à partir du temps généralisé. Ce temps essaye de traduire en quelque sorte le temps tel qu'il est ressenti par les usagers lors de leur déplacement.

La formule de temps généralisé utilisée prend en compte les éléments suivants (nous verrons pour chaque élément quel est le mode de calcul) :

- Le temps de parcours en véhicule : le calcul de ce temps a déjà été évoqué dans la partie précédente. Il est obtenu à partir des caractéristiques des arcs du réseau ;
- Le temps d'accès au réseau à pied à l'origine et à la destination, qui comme nous l'avons déjà expliqué est le temps mis pour aller du centroïde de zone à l'arrêt qui lui est rattaché : là encore le calcul de ce temps a été conservé. J'ai choisi de retenir une valeur de 1m/s qui est une vitesse couramment retenue pour la marche à pied ;
- Le temps d'attente, aussi bien initial qu'en correspondance comme nous l'avons déjà expliqué : nous avons choisi d'appliquer une fonction de temps d'attente différente de celle qui avait été initialement retenue par D.Caubel (2006). Afin de tenir compte de la connaissance des horaires lorsque les fréquences de passages deviennent trop faibles, nous avons choisi de prendre un temps d'attente borné à un maximum de 10 minutes (ce qui est déjà très pénalisant compte tenu du coefficient pondérateur). Par contre pour des intervalles de passage inférieurs à 20 minutes le calcul du temps d'attente sera conservé. Ainsi celui-ci reste égal à la moitié de la fréquence.
- La pénalité d'accès, qui permet de traduire certaines réticences d'ordre psychologique de l'utilisateur vis-à-vis de la ligne de transport en commun. Ces perceptions peuvent découler de

la régularité d'une ligne, de son caractère plus ou moins contraignant, de son confort. Ainsi cette pénalité d'accès est souvent considérée comme plus importante pour le bus, que pour le métro et le tramway ce qui conduit à retenir usuellement les valeurs suivantes : 10 minutes pour une montée dans un bus et 5 minutes pour une montée dans une rame de métro ou de tramway. Nous avons ainsi choisi d'appliquer ces valeurs

Il est intéressant de préciser que si dans le réseau modélisé plusieurs exploitants étaient pris en compte, il aurait pu être nécessaire de rajouter un temps supplémentaire qui aurait été la conversion en temps du prix du billet. Or dans notre cas, les prix des billets sont constants car il y a un unique exploitant.

Les différentes composantes du temps généralisé que nous venons de voir ne sont pas ressenties de la même façon, il convient donc d'introduire des coefficients pondérateurs, afin de leur accorder une importance différente. Le temps généralisé est donc donné par la formule suivante :

$$T_g = K_m \times T_{m \text{ origine}} + K_m \times T_{m \text{ destination}} + \sum_i (T_a^i \times K_a + T_{veh}^i + P_a^i)$$

où  $T_{m \text{ origine}}$  et  $T_{m \text{ destination}}$  sont les temps de marche à l'origine et à l'arrivée et  $K_m$  le coefficient pondérateur appliqué à la marche à pieds ;

$T_a^i$  le temps d'attente avant de monter dans le  $i^{\text{ème}}$  véhicule de transport et  $K_a$  le coefficient pondérateur appliqué au temps d'attente ;

$T_{veh}^i$  le temps passé dans le  $i^{\text{ème}}$  véhicule ;

$P_a^i$  la pénalité d'accès à la  $i^{\text{ème}}$  ligne de transport

De façon générale la marche à pied est souvent affectée d'un coefficient de pondération compris entre 2 et 3 et l'attente de coefficients compris entre 1,5 et 2. N'ayant pas plus de renseignements sur le ressenti des usagers nous prendrons dans un premier temps une valeur de 2 pour les deux coefficients de pondération. Ensuite nous essayerons un deuxième couple de coefficient en reprenant les valeurs utilisées dans TERESE. Les coefficients retenus sont de 1,75 pour le temps d'attente et de 2,8 pour les temps d'accès.

Malgré tout, même si le temps généralisé a pour but de mieux coller à la réalité que le temps réel, il est important de garder en mémoire que beaucoup d'autres composantes du déplacement ou de l'individu influent sur la perception des caractéristiques du déplacement. Ainsi l'habitude et la connaissance préalable des itinéraires contribuent souvent à une perception moindre des coûts sur ces itinéraires relativement à des itinéraires inconnus. L'absence d'informations relatives à certains itinéraires conduit de fait à leur attribuer un coût quasi-infini. Il est également important de souligner les limites de cette formalisation mathématique de la fonction de coût généralisé. L'additivité de l'ensemble des éléments entrant dans la fonction de coût n'est pas évidente, car il n'est pas sur que les individus disposent ainsi d'un référentiel unique permettant d'assurer la conversion de l'ensemble des composantes du coût généralisé.

Il est également important de garder à l'esprit qu'aucune phase de calage n'a pu être réalisée avant notre phase d'affectation. Ainsi les valeurs des pénalités d'accès, des coefficients de calcul du temps d'attente ainsi que les coefficients de pondération sont des valeurs que nous pourrions qualifier d'usuelles. Toutefois ces valeurs peuvent avoir une grande importance comme par exemple la pondération de la marche à pieds qui peut expliquer des différences non négligeables du temps généralisé. Il faudra donc se souvenir lors de l'exploitation des résultats qu'une partie des

différences observées pourront en être la conséquence. C'est pour cela que nous allons tester deux couples de coefficients de pondération.

## 3.2 Modification de l'algorithme tout-ou-rien

### 3.2.1 Mode d'accrochage des centroïdes

Nous avons vu que la méthode d'accrochage des centroïdes ne donnait pas entière satisfaction. En effet même si elle réduisait les temps de calcul elle pouvait conduire à une non prise en compte de certains chemins pouvant se révéler plus courts en terme de temps généralisé. Afin d'empêcher d'éventuelles erreurs le système d'accrochage a été modifié. Tandis qu'à l'origine la station la plus proche était rattachée au centroïde si la distance était inférieure à la distance limite d'accrochage, nous avons choisi de considérer toutes les stations se trouvant à l'intérieur d'un cercle dont le centre est le centroïde et le rayon la distance d'accrochage.

Prenons l'exemple ci-dessous. Soit deux centroïdes I et J. Les nœuds situés dans la zone d'accrochage de chacun des centroïdes sont respectivement a,b,c et e,f. La méthode d'accrochage passe donc par le calcul de tout les temps généralisé entre les nœuds a,b,c et e,f, soit les temps  $T_{g_{a,e}}, T_{g_{a,f}}, T_{g_{b,e}}, T_{g_{b,f}}, T_{g_{c,e}}, T_{g_{c,f}}$

Ensuite il s'agit de comparer pour chacun des nœuds k de départ et l d'arrivée les temps :

$$T_{t_{k,l}} = T_{g_{k,l}} + K_{MAP} \times (T_{MAP_{I,k}} + T_{MAP_{I,J}})$$

où  $T_{MAP_{I,k}}$  est le temps de marche à pieds pour aller du centroïde I à chacun des nœuds a,b,c, idem pour  $T_{MAP_{I,J}}$  avec le centroïde J et les nœuds e,f ;  $K_{MAP}$  est le coefficient tenant compte de la pénibilité de la marche.

Puis finalement on considère que le plus court chemin pour aller du centroïde I au centroïde J est le plus court chemin passant par les nœuds m et n tel que  $T_{t_{m,n}} = \min (T_{t_{k,l}})_{k=a,b,c \text{ et } l=e,f}$ .

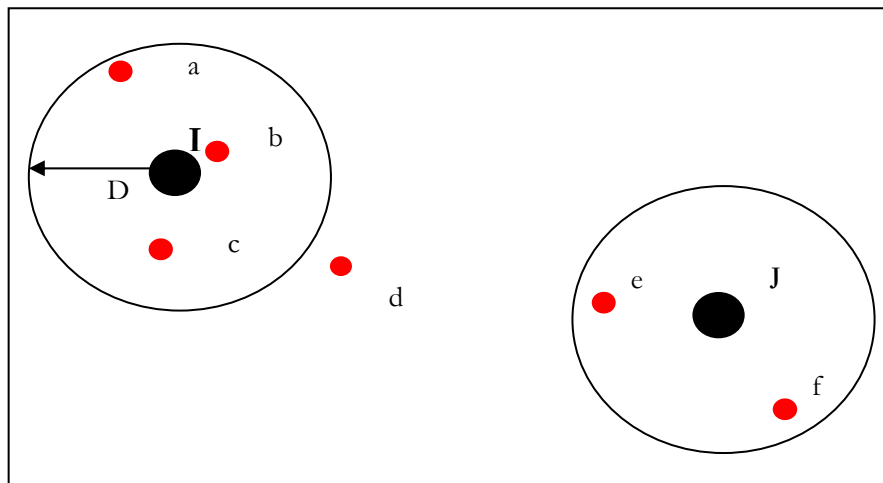


Figure 3.1 : Exemple du nouveau mode d'accrochage des centroïdes

La recherche du plus court chemin est donc plus exhaustive sans toutefois l'être totalement. Cependant le temps de calcul s'en trouve augmenté étant donné que l'on augmente le nombre d'itinéraires recherchés. Le programme a donc été optimisé afin de réduire les durées de calcul.

Dans le tableau ci-dessous sont rassemblées les durées de calcul en fonction des distances d'accrochage. Les temps de calcul restent donc corrects.

	500m	300m	100m
Temps de calcul approximatif	2h40	1h30	45 minutes

Figure 3.2 : Temps de calcul en fonction de la distance d'accrochage

Etant donné que nous n'avons pu adapter un algorithme de recherche des plus courts chemins existant, j'ai réalisé les calculs avec l'algorithme présenté en 2.3. Le domaine de validité de cet algorithme est fonction principalement de la distance d'accrochage. En effet le choix d'une trop grande distance d'accrochage (typiquement plus de 1000 mètres), conduirait au calcul d'un nombre trop important de plus courts chemins. Ainsi le temps de calcul serait augmenté sensiblement pour donner des résultats qui ne seraient pas réellement différents de ceux pouvant être obtenus avec une distance plus faible. Dans ce cas là le temps de marche à pied devient trop important. Seuls les déplacements dont l'origine et/ou la destination se trouvent en périphérie pourraient présenter des différences car l'offre en transport est réduite. Toutefois il est courant de considérer que les zones de chalandise des stations de transport en commun ne dépassent pas un rayon de 500 mètres. Ainsi il n'est pas cohérent de retenir de telles distances. Inversement comme nous le verrons dans la partie 4.3, il y a également une limite inférieure car si on prend une distance d'accrochage trop petite le nombre d'origines-destinations prises en compte est trop faible pour que les résultats puissent être significatifs.

## 3.2.2 Des évolutions à envisager

### 3.2.2.1 Des distances d'accrochage différenciées

Au lieu de considérer une seule distance d'accrochage pour tous les modes de transport en commun, il est possible de retenir des distances différentes. On a généralement l'habitude de retenir une distance d'accrochage de 300 mètres pour les bus, de 400 mètres pour les tramways et de 500 mètres pour les métros. Ceci a pour objectif de tenir compte de l'attractivité différente des différents modes. Ainsi les usagers seront plus enclins à parcourir de plus grandes distances à pieds pour prendre une ligne de transport en commun performante.

### 3.2.2.2 Modification de la codification du réseau

Malgré la modification du mode d'accrochage, il se peut que certains plus courts chemins soient ignorés lors de la recherche. Ainsi même si dans le cadre du TFE nous avons choisi de conserver l'algorithme existant, l'aide de plusieurs spécialistes de la modélisation des déplacements a été requise. L'avis de ces personnes converge tous et laisse à penser qu'il n'existe pas d'algorithmes de recherche de plus courts chemins spécifiquement adaptés aux transports en commun. Toutefois il existe des solutions permettant de s'affranchir des limites des algorithmes tout ou rien appliqués aux TC. Selon Olivier Richard, chercheur à l'INRETS, cela passerait par une modification de la codification du réseau. Deux types de modifications sont envisageables :

- La multiplication des liens du réseau :

Cette méthode repose sur la multiplication des arcs du réseau de façon à ce que toutes les stations d'une ligne de transport soient reliées à toutes les autres stations de cette même ligne par un lien. Toutefois cette méthode peut se révéler être assez lourde car les arcs seront créés dans l'algorithme. Ceci aura donc pour conséquence un allongement notable du temps de calcul.

- La multiplication des nœuds du réseau :

Le principe de cette deuxième méthode est de multiplier les sommets pour prendre en compte les correspondances. Ainsi une station réelle est dédoublée en autant de stations fictives que de lignes de transport en commun partant ou arrivant à cet arrêt (cf. figure 3.4). Ainsi les temps d'attente ne sont plus des attributs des lignes TC, mais sont représentés par des arcs du réseau, le temps de parcours de ces arcs étant égal au temps d'attente. Ce type de modélisation permet de s'affranchir des problèmes évoqués dans la partie 2.3. En effet à ce moment là, il suffirait d'appliquer un algorithme de Dijkstra « classique ». Ainsi si on reprenait l'exemple de la figure 2.4, nous aurions cette fois-ci le schéma suivant :

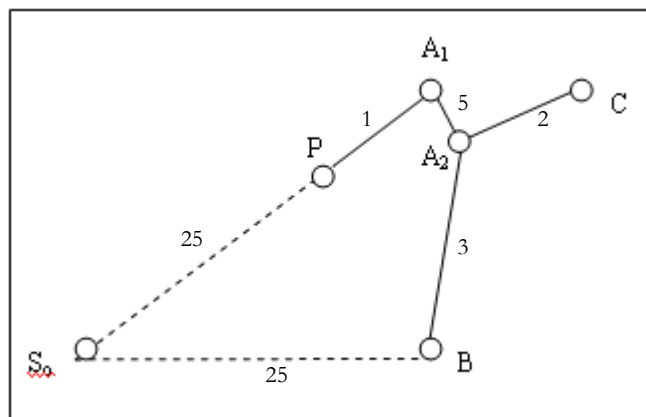


Figure 3.3 : Résolution du problème de la figure 2.4

Dans ce cas là, le problème serait résolu et le plus court chemin trouvé par l'algorithme pour aller de  $S_0$  à C serait celui passant par B et non celui passant par P comme nous l'avons vu dans la partie 2.3. En effet avec cette modélisation du réseau et avec le dédoublement du nœud A, le plus court chemin pour aller de  $S_0$  à  $A_1$  reste celui passant par P. Par contre le plus court chemin pour aller de  $S_0$  à  $A_2$  n'est plus celui passant par P, mais celui passant par B:

$$\text{tps}(S_0-B-A_2) = 25 + 3 = 28 \text{ et } \text{tps}(S_0-P-A_1-A_2) = 25 + 1 + 5 = 31$$

Donc finalement le plus court chemin retenu pour aller de  $S_0$  à C sera bien celui passant par B et non celui passant par P, la modification de la codification conduisant bien à la prise en compte de tous les itinéraires possibles.

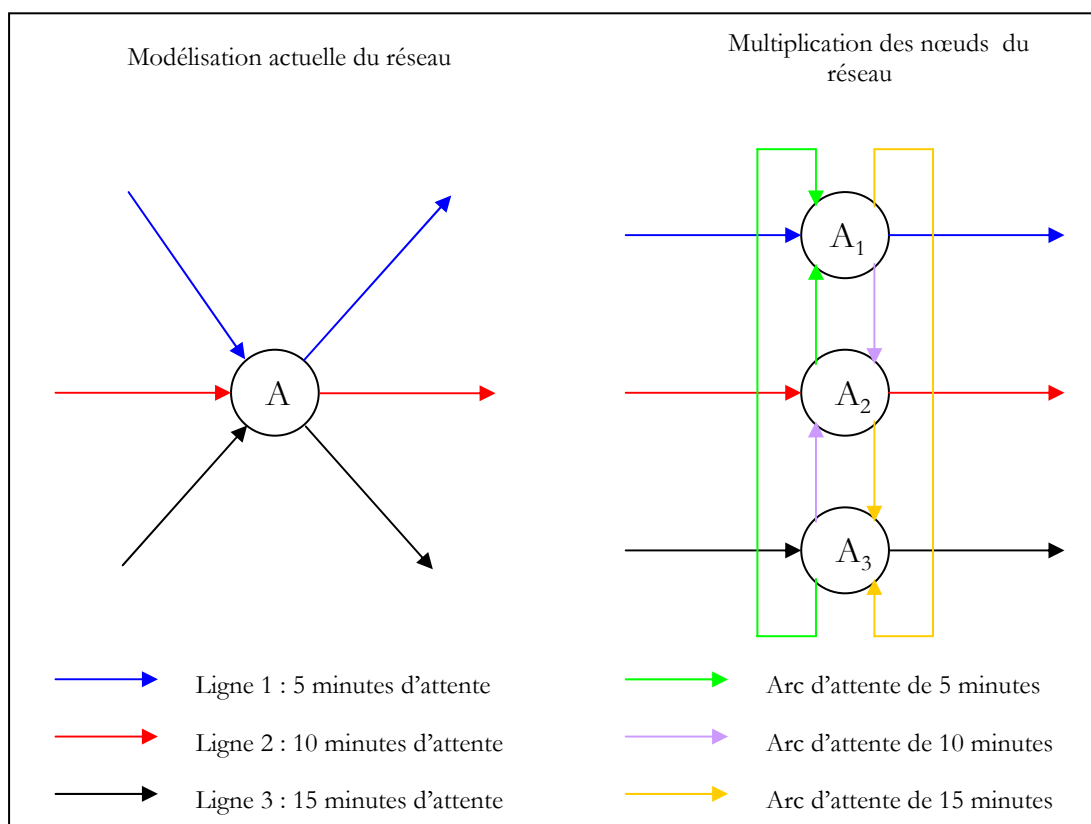


Figure 3.4 : Exemple de multiplication des nœuds du réseau

Cette méthode paraît donc intéressante même si la modification de la codification du réseau pourrait être longue, notamment pour les centres d'échange comme la Part Dieu ou Perrache où il y a un nœud par mode de transport en commun. De plus la multiplication du nombre de nœuds pourrait avoir un impact lourd sur les temps de calcul.

### 3.3 Modifications nécessaires pour l'obtention des sorties

Afin d'apporter d'autres modifications à notre programme, il est nécessaire de savoir ce que l'on veut obtenir en sortie. Il faut donc définir les indicateurs de comparaison que nous allons exploiter dans la partie suivante.

#### 3.3.1 Les indicateurs de comparaison

Les indicateurs que j'ai choisis de retenir sont rassemblés dans le tableau 3.6. Les cases grisées correspondent aux échelles pour lesquelles le calcul est envisageable ou pertinent.



Il est possible de distinguer deux types d'indicateurs, les indicateurs de temps et les indicateurs d'affectation. Les indicateurs de temps sont des indicateurs globaux permettant de comparer la qualité des données saisies comme les fréquences ou les temps de parcours des tronçons. Quant aux indicateurs d'affectation, ils permettent de rendre compte de la fréquentation des lignes et des comportements adoptés lors des différentes phases de transport. Ces indicateurs sont principalement des nombres de déplacements ou alors des pourcentages de déplacements lorsqu'ils peuvent être séparés en plusieurs classes.

	Ensemble du réseau	Par type de ligne	Par ligne
<b>Temps réel de déplacement</b>	Moyenne sur l'ensemble des OD		
<b>Temps généralisé du déplacement</b>			
<b>Temps de marche à pied</b>			
<b>Temps d'attente</b>			
<b>Temps en véhicule</b>			
<b>Part de chacun de ces temps par rapport au temps réel total</b>			
<b>Nombre de déplacements</b>	Nombre de déplacement pour l'ensemble des OD	Somme des montées	Nombre de montées par ligne
<b>Directs</b>			
<b>Une correspondance</b>			
<b>Deux correspondances</b>			
<b>Trois et plus</b>			
<b>Part de chacun de ces déplacements</b>			

Figure 3.5 : Tableau des indicateurs de comparaison retenus

Il est à chaque fois possible de calculer plusieurs types de moyennes :

- une moyenne arithmétique « classique » qui s'obtient de la façon suivante :

$$M = (\sum_{ij} X_{ij}) / N \text{ où les } X_{ij} \text{ sont les variables pour l'OD } i,j \text{ et } N \text{ le nombre de variables}$$

- ou alors une moyenne pondérée par le nombre de voyageurs :

$$M_{\text{pond}} = \sum_{ij} X_{ij} * (V_{ij} / V) \text{ où les } X_{ij} \text{ sont les variables et les } V_{ij} \text{ le nombre déplacements pour l'OD } i,j, V = \sum_{ij} V_{ij} \text{ et est donc le nombre total de déplacements considérés}$$

Cette seconde moyenne est plus pertinente car elle permet de tenir compte des différences de poids entre les différentes origines-destinations.

Nous allons maintenant clore cette partie en présentant les adaptations que nous avons dû apporter à l'algorithme de calcul afin d'obtenir les indicateurs dont nous venons de parler.

### 3.3.2 Les adaptations nécessaires

#### 3.3.2.1 Calcul du temps d'attente cumulé

Afin de pouvoir calculer les plus courts chemins sur la base du temps généralisé comme nous l'avons vu, il est nécessaire de rajouter un dictionnaire tenant à jour les temps d'attentes cumulés. De plus cette variable nous permet de réaliser le cumul différencié des différents temps pour chaque origine-destination. Nous pouvons donc obtenir facilement le temps de marche à pieds, le temps d'attente puis le temps en véhicule par soustraction.

#### 3.3.2.2 Calcul des pénalités d'accès cumulées

De la même façon que pour les temps d'attente, la création de cette variable permet de retrouver à partir du temps généralisé le temps réel d'un déplacement. Cette variable a été codée exactement de la même façon que les temps d'attente.

#### 3.3.2.3 Calcul du nombre de correspondance par OD

Une nouvelle variable est créée. Elle tient à jour les ruptures de charges sur un itinéraire. Ainsi à la fin cette variable permet de connaître le nombre de ruptures de charge pour chaque OD. Grâce à cela il est possible de calculer le nombre de voyages réalisés directement avec un changement, deux changements ou bien trois et plus.

#### 3.3.2.4 Liste des lignes empruntées pour réaliser un trajet d'origine à destination :

La liste des lignes n'a aucune utilité directement. Par contre c'est grâce à cette liste qu'il va être possible de reconstituer les fréquentations sur les différents types de ligne voir éventuellement sur toutes les lignes. Toutefois l'obtention de la fréquentation détaillée pourra poser problème lorsque des lignes fictives sont utilisées, comme nous l'avons vu dans la partie 2.1.3.

Pour finir nous allons juste voir quelle est la forme des sorties du programme

ID IRIS origine	ID IRIS destination	Temps généralisé entre les deux nœuds attachés	Temps de marche à pieds à l'origine	Temps de marche à pieds à la destination	Temps d'attente	Somme des pénalités d'accès	Nombre de correspondance	Liste des lignes utilisées entre deux correspondances
A	B	Tg	Tmapo	Tmapd	Ta	$\sum Pa$	Nb cor	1/3,4,5/6

Figure 3.6 : Tableau de sortie du programme

Ainsi il est possible à partir de ces différentes sorties de retrouver le temps réel de déplacement donné par la formule :

$$T_{\text{réel}} = T_g - \Sigma Pa - \text{coefficient MAP} * (T_{\text{mapo}} + T_{\text{mapd}}) - \text{coefficient attente} * T_a$$



## 4 COMPARAISON AVEC LE MODELE TERESE

Dans cette dernière partie nous allons comparer les résultats de notre modèle avec ceux de TERESE. Avant cela nous évoquerons la construction de la matrice demande qui sera affectée aux réseaux et je présenterais le modèle TERESE de la SEMALY.

### 4.1 Matrice de demande

Afin de pouvoir comparer notre modèle d'affectation basé sur les données du LET et le modèle TERESE développé par la SEMALY il est nécessaire d'appliquer les mêmes matrices de demande. C'est pour cela que nous allons utiliser la matrice de demande TC de 2001 fournie par la SEMALY. Il s'agit d'une matrice de déplacements à la période de pointe du soir, c'est-à-dire dans ce cas entre 16h30 et 19h.

Toutefois cela pose un problème étant donné que l'aire lyonnaise modélisée par le SEMALY repose sur un découpage en 196 zones. Or le découpage de l'aire urbaine lyonnaise du LET est basé sur un zonage plus précis avec 777 zones. Cette différence est illustrée sur la capture d'écran ci-dessous où figure en rouge le découpage en IRIS et en noir le découpage SEMALY. On peut bien voir que des zones se recourent.

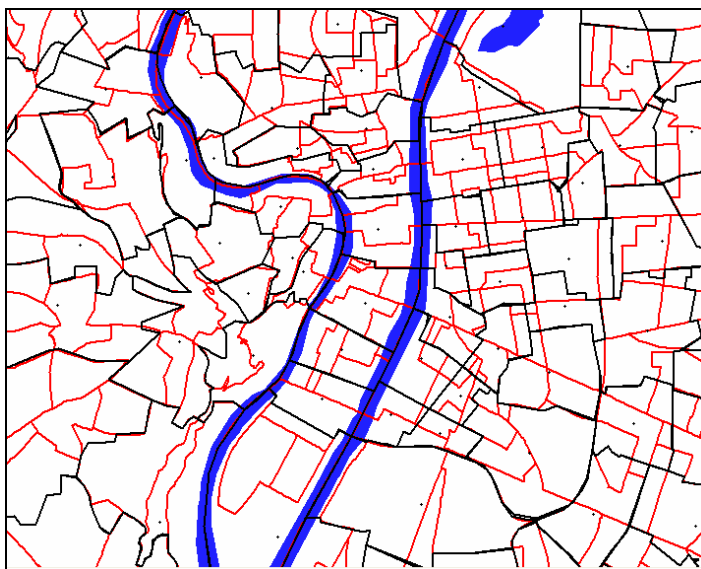


Figure 4.1 : Différence de découpage entre le zonage IRIS et le zonage SEMALY

Afin de résoudre ce problème, deux alternatives s'offrent à nous :

- Il est possible d'agréger les zones de la modélisation du LET afin de les faire correspondre au zonage de la SEMALY et ainsi appliquer la matrice de demande telle qu'elle est donnée. Toutefois cette solution nécessitera une modification du réseau codifié, ce qui peut paraître contradictoire avec les objectifs du TFE, qui sont de tester le réseau modélisé.

- L'autre solution est d'éclater la matrice de demande TC de la SEMALY, c'est-à-dire de passer d'une matrice de taille 196x196 à une matrice de taille 777x777. Il s'agit de la solution que nous avons retenue.

Nous allons maintenant voir comment a été réalisé l'éclatement dans la pratique. La mise en pratique s'appuie sur une méthode décrite dans le rapport « Lyon 21. ».

La détermination de la demande sur le découpage du LET nécessite la construction d'une matrice de passage entre la matrice de la SEMALY et celle-ci. Ainsi chaque zone IRIS sera définie comme la somme pondérée de zones du découpage TERESE dont une partie est incluse dans la zone IRIS. La pondération correspond au pourcentage de la surface bâtie de la zone TERESE qui est commune avec la zone du découpage du LET. Le choix de la surface bâtie vient du fait que celle-ci est la somme des surfaces d'habitation et des surfaces de travail. Cette pondération tient donc compte à la fois du caractère émetteur et attracteur de chaque zone.

Voici la formule donnant la demande pour les zones IRIS :

Soit une origine  $i$  et une destination  $j$  du découpage du LET en IRIS et  $D_{ij}$  la demande sur l'origine-destination  $ij$ .

Supposons que  $n$  zones TERESE soient communes avec la zone  $i$  et  $m$  zones TERESE communes avec la zone  $j$ .

Soit  $d_{kl}$  la demande de déplacement entre les zones  $k$  et  $l$  du découpage TERESE

Alors on a :

$$D_{ij} = \sum_{k,l} \alpha_{ik} \cdot \alpha_{jl} \cdot d_{kl}$$

où  $\alpha_{ik}$  et  $\alpha_{jl}$  sont respectivement les coefficients de pondération des zones IRIS  $i$  et  $j$  par rapport aux zones TERESE  $k$  et  $l$ .

Afin de calculer ces coefficients, voici la démarche qui est adoptée :

- Sous le SIG GEOCONCEPT®, à partir du découpage en IRIS de l'Aire Urbaine Lyonnaise et du découpage SEMALY a été créé un nouveau découpage résultant des intersections des deux premiers zonages, qui est un zonage intermédiaire qui nous fournit les surfaces de chaque zone (figure 4.2).

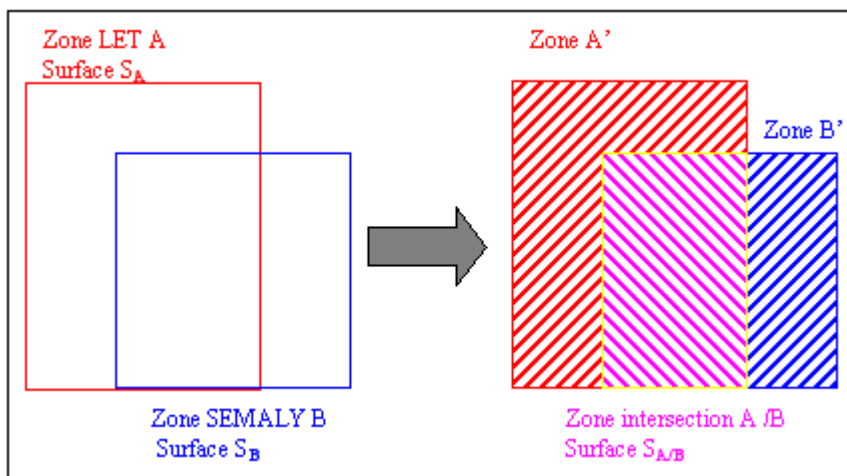


Figure 4.2 : Découpage intersection des découpages IRIS et SEMALY

- Ensuite afin d'obtenir les surfaces bâties de chacune de ces zones, il convient de créer un nouveau découpage résultant de l'intersection entre le zonage intermédiaire et les zones bâties (figure 4.3) génératrices :

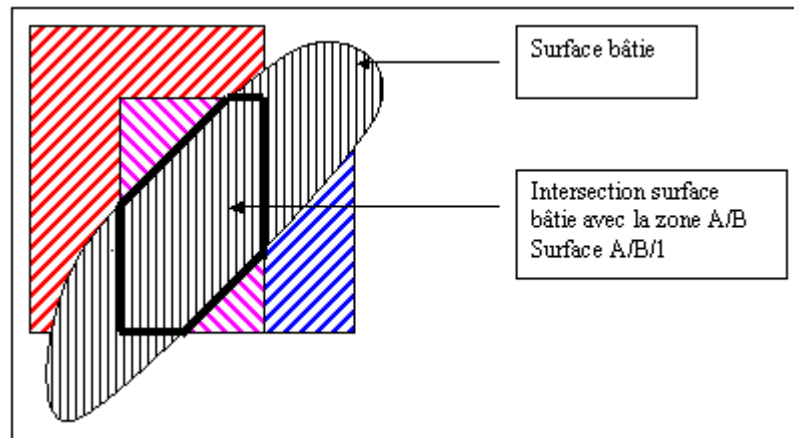


Figure 4.3 : Intersection entre le découpage intermédiaire et les surfaces bâties

Nous disposons donc maintenant des surfaces bâties de chacune des zones résultant des intersections des zones LET et des zones TERESE.

- Ensuite en travaillant sous ACCES, il est possible de trouver les coefficients de pondération correspondant à chaque zone A/B où A est un IRIS et B une zone TERESE.

N° Identifiant Z=IRIS/SEMALY	Identifiant IRIS	Identifiant SEMALY	Surface IRIS	Surface SEMALY	Surface Z	Surface génératrice de Z	Surface génératrice SEMALY	% IRIS
A/B	A	B	$S_A$	$S_B$	$S_{A/B}$	$S_{A/B/1}$	$S_{GA} = \sum_A S_{A/B/1}$ pour une zone SEMALY donnée	$\alpha = S_{A/B/1} / S_{GA}$

Figure 4.4 : Table permettant de trouver les coefficients de pondération

- Puis une matrice OD a été construite entre toutes les zones intersections (A/B et C/E)

ID Z origine	ID IRIS origine	ID SEMALY origine	% IRIS origine	ID Z destination	ID IRIS destination	ID SEMALY destination	% IRIS destination	Demande SEMALY	% IRIS sur l'OD	Demande de Z origine à Z destination
A/B	A	B	$\alpha$	C/E	C	E	$\alpha d$	$D_{B,E}$	$\alpha \cdot \alpha d$	$\alpha \cdot \alpha d \cdot D_{B,E}$

Figure 4.5 : Matrice OD entre les zones intersections

- Enfin la matrice des déplacements pour le découpage en IRIS est obtenue en sommant les cellules de la matrice des déplacements entre les zones intermédiaires. De façon plus précise la somme est la suivante :

En reprenant les notations du tableau ci-dessus :

$$D_{A,C} = \sum_{B,E} \alpha \cdot \alpha d \cdot D_{B,E}$$

Nous avons donc à notre disposition la matrice des déplacements pour le découpage en IRIS. Il convient cependant de préciser que certains déplacements ne seront pas pris en compte à cause de cette méthode. En effet l'aire modélisée n'est pas tout à fait la même, comme on peut le voir sur la figure 4.6. La surface grisée correspondant aux IRIS et le contour en bleu correspond à la limite du découpage SEMALY. Ainsi on peut voir que certains IRIS ne sont pas inclus dans au moins une zone du découpage SEMALY. Il est donc tout naturel qu'aucun déplacement ne sera considéré à l'origine ou à la destination de ces zones.

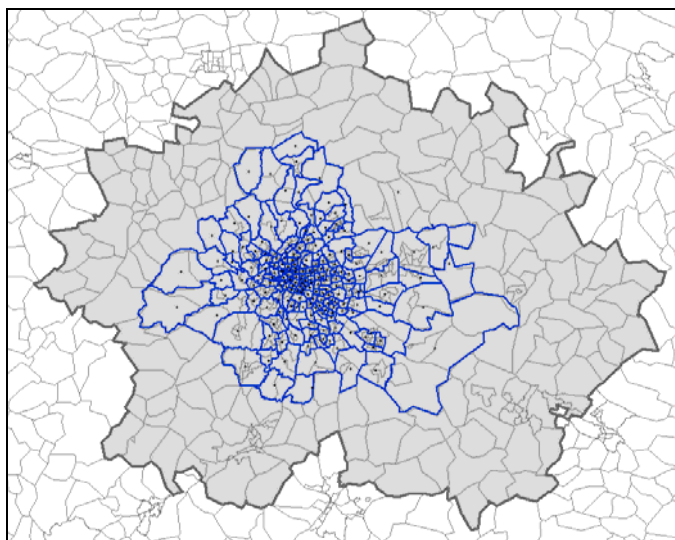


Figure 4.6 : Aire Urbaine de Lyon et découpage SEMALY

## 4.2 Présentation du modèle TERESE

Les données avec lesquelles nous allons comparer nos résultats d'affectation sont issues du logiciel TERESE. Ce logiciel a été développé par la SEMALY. Il permet de définir un réseau de transport en commun, de générer la demande de transport et d'affecter cette demande sur un réseau de transport collectif. A partir de là, il est possible de réaliser des analyses en terme de trafic, d'investissement ou encore d'impact spatial.

Le réseau modélisé sous TERESE est un réseau relativement détaillé, mais toutefois moins que celui représenté au sein du LET. La différence notable étant au niveau du zonage, qui comme nous l'avons vu en 4.1, est beaucoup plus fin pour les données du LET. Les lignes du réseau quant à elles possèdent des caractéristiques plus détaillées que dans notre cas. Ainsi les différentes lignes de transport collectif sont réparties en 10 types. A chacun de ces types de ligne correspond une combinaison propre des trois variables suivantes :

- le coefficient de régularité,
- la pénalité d'accès,
- le mode de calcul du temps d'attente.

Le calcul des plus courts chemins est réalisé en comparant les temps généralisés. La formule de ce temps généralisé est identique dans sa construction à la celle que nous avons retenue. Ainsi les coefficients de pondération sont les seules différences. Ceci paraît logique étant donné que ces coefficients proviennent d'une phase de calage, phase que nous n'avons pu réaliser. Il est aussi primordial d'ajouter qu'il existe des différences au niveau du calcul des temps d'accès. Dans le



modèle TERESE les temps de marche à pieds pour accéder à une station de transport en commun sont dans la plupart des cas nuls. C'est notamment le cas des zones où il n'y a qu'un arrêt. Dans cette situation le temps d'accès est considéré comme nul. Toutefois le temps d'accès est tout de même pris en compte, mais seulement dans les pénalités d'accès. Nous verrons ainsi quels sont les impacts de ces principes de calcul.

Puis après le calcul des temps généralisés pour chaque itinéraire, le logiciel TERESE définit le plus court chemin entre toutes les zones grâce à un algorithme tout ou rien, différent de celui programmé par D.Caubel (2006) et propose une recherche exhaustive des plus courts chemins. Enfin la demande est affectée sur les plus courts chemins.

## 4.3 Comparaison des indicateurs

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, des modifications ont été apportées afin de comparer les deux modèles. Ainsi dans cette optique nous comparerons les résultats de TERESE avec ceux de notre modèle pour plusieurs distances d'accrochage des centroïdes afin de tester l'influence de ce paramètre. De plus dans un premier temps nous utiliserons une formule du temps généralisé sans pénalités d'accès puis nous rajouterons une pénalité comme nous l'avons vu dans la partie 3.1. Tous les calculs seront menés avec une pénalité de deux pour la marche à pied et l'attente. Toutefois afin d'appréhender l'influence de ces coefficients j'ai réalisé une dernière série de données pour une distance d'accrochage de 500 mètres, avec pénalité d'accès et en appliquant les coefficients de la SEMALY vus dans la partie 3.1. Ainsi lorsque aucune précision n'est apportée un coefficient de 2 est retenu aussi bien pour la marche à pied que l'attente.

### 4.3.1 Comparaison des indicateurs d'affectation

Nous allons tout d'abord commencer par les indicateurs d'affectation que sont les nombres de déplacements. Ceux-ci comme nous l'avons vu peuvent être désagrégés en fonction de différentes variables comme le nombre de correspondances ou les modes utilisés.

#### 4.3.1.1 Des différences d'indicateurs globaux acceptables

Les nombres totaux de déplacements et de voyages constituent les premiers indicateurs à étudier. Ils sont rassemblés dans les tableaux 4.7 et 4.8. Un déplacement est considéré comme la somme des voyages qui le composent. Il est important que les déplacements intra zonaux ne soient pas considérés dans le total car ceux-ci sont effectués à pieds.

On peut tout d'abord remarqué l'influence logique de la distance d'accrochage avec une hausse du nombre de déplacements avec celle de la distance d'accrochage. Ainsi on peut voir qu'avec une distance de 100 mètres le nombre de déplacement pris en compte est de 22630 ce qui constitue un nombre non acceptable. Il en va bien entendu de même si l'on prend en compte les pénalités d'accès. C'est pour cela que par la suite nous considérerons uniquement les distances de 300 et 500 mètres.

On pourra voir que le nombre total de déplacements est inférieur à celui donné par TERESE. Cette différence est non négligeable pour une distance d'accrochage de 300 mètres avec une différence de 15% tandis qu'elle est beaucoup plus faible pour une distance de 500 mètres avec 3%. Dans ce cas on peut considérer que le nombre de déplacement est quasiment similaire. Il est bien entendu le même avec ou sans pénalité d'accès car celle-ci n'influe en rien sur la décision de se

déplacer ou non. Par contre c'est le cas de la distance d'accrochage qui est censée représenter une distance moyenne au-dessus de laquelle les habitants ne souhaitent pas aller prendre un transport en commun. La différence entre TERESE et le modèle du LET vient du fait que tous les déplacements d'origine à destination sont possibles dans TERESE même si le temps de parcours est très grand.

	TERESE	LET 500m		LET 300m		LET 100m
Nombre total de déplacements	209951	203438	-3%	175902	-16%	22649
Nombre total de voyages effectués	314907	359196	14%	346946	10%	56467

Figure 4.7: Nombre totaux de déplacements et voyages sans pénalités d'accès

	TERESE	LET 500m		LET 300m		LET 100m
Nombre total de déplacements	209951	203438	-3%	175902	-16%	22649
Nombre total de voyages effectués	314907	293874	-6%	292895	-7%	47062

Figure 4.8: Nombre totaux de déplacements et voyages avec pénalités d'accès

Au niveau du nombre de voyages, les résultats sont beaucoup moins bons si l'on ne considère pas les pénalités d'accès. En effet les résultats pour 500 mètres sont supérieurs d'environ 15% à ceux de TERESE. Cette différence est moindre si l'on regarde une distance de 300 mètres mais ceci est dû au plus faible nombre de déplacements considérés.

Toutefois si l'on rajoute une pénalité différenciée à la fonction de temps généralisé, on peut s'apercevoir que les différences sont moins importantes. Le nombre total de voyages obtenu par le modèle du LET devient même inférieur à celui obtenu par le modèle SEMALY. Avec une différence de -6% pour une distance de 500 mètres. La différence est également de 7% avec une distance de 300 mètres mais la comparaison n'est pas très cohérente du fait de la différence entre les nombres de déplacements.

Nous allons maintenant voir quels peuvent être les indicateurs qui expliquent cette différence du nombre de voyages suivant la prise en compte des pénalités d'accès.

#### 4.3.1.2 Répartitions des déplacements suivant le nombre de ruptures de charge

Dans les deux tableaux ci-après les déplacements sont répartis en fonction du nombre de ruptures de charge qu'ils nécessitent. Le tableau 4.9 qui présente les résultats sans pénalités d'accès montre clairement que le nombre de correspondances nécessaires pour réaliser un déplacement est surestimé par rapport aux résultats de TERESE. Ceci se traduit tout d'abord par les différences observées au niveau du nombre moyen de lignes empruntées pour réaliser un déplacement. Ce nombre est de 1,5 pour TERESE et de respectivement 1,8 et 2 pour les distances de 500 et 300 mètres sans pénalités d'accès. Ceci vient du fait que les pénalités d'accès ne sont pas prises en compte. Ainsi le changement de ligne n'est pas très pénalisant. D'autre part une deuxième raison est la finesse de la description du réseau du LET. En effet cette finesse a pour conséquence d'augmenter les possibilités d'itinéraires pour réaliser un déplacement d'une origine à une destination. Dans un réseau moins maillé comme celui modélisé dans TERESE les possibilités sont moins nombreuses et donc les ruptures de charge potentiellement moins fréquentes. Les conséquences de ces caractéristiques peuvent aussi être mises en valeur par les différences de répartition des déplacements.

En effet dans le cas de TERESE les déplacements directs ou avec une correspondance représentent une bonne majorité avec notamment 57% des déplacements. Ce n'est plus le cas pour le modèle du LET pour lequel la répartition est plus équilibrée même si les déplacements directs et avec une correspondance prédominent. On pourra remarquer, qu'aussi bien pour une distance d'accrochage de 500 et 300 mètres, le nombre de déplacements incluant trois changements et plus n'est plus quasi nulle, et ce toujours pour les raisons citées précédemment. Nous allons maintenant voir quel est l'effet de la mise en place d'une pénalité d'accès.

	TERESE		LET 500m		LET 300m	
Direct	120061	57%	97807	48%	65434	37%
1 correspondance	75377	36%	69380	34%	64378	37%
2 correspondances	13960	7%	28017	14%	33600	19%
3 correspondances et plus	553	0%	8234	4%	12487	7%
Nombre de lignes empruntées pour un déplacement	1,5		1,8		2,0	

Figure 4.9 : Nombre de déplacements en fonction des ruptures de charge sans pénalités d'accès

La prise en compte des pénalités d'accès conduit fort logiquement à une réduction du nombre moyen de lignes utilisées. Cette baisse est sensible et cet indicateur devient même inférieur à la valeur de TERESE pour une distance d'accrochage de 500 mètres avec un nombre de 1,4. Un nombre plus important de 1,7 pour une distance d'accrochage plus faible de 300 mètres s'explique par le fait que dans le cas de la distance de 500 mètres les usagers peuvent aller chercher plus loin des lignes de transports qui permettraient des déplacements plus directs. On pense notamment aux lignes en site propre lourd tels que les métros ou les tramways. On peut remarquer que l'utilisation des coefficients de TERESE a pour effet d'augmenter légèrement le nombre de lignes empruntées qui est le même que pour le logiciel de la SEMALY. Cette évolution paraît cohérente car la réduction du coefficient appliqué à l'attente a pour effet de moins pénaliser les changements. De plus la hausse du coefficient pondérateur de la marche à pieds signifie que les usagers auraient plus tendance à prendre des lignes de transport proches de leur domicile, même s'ils doivent effectuer un changement de plus par la suite. De ce fait le nombre de lignes moyen augmente légèrement, ce que nous allons vérifier dans le paragraphe suivant.

Le nombre de lignes empruntées est cohérent avec la répartition des déplacements. On pourra voir que pour une distance de 500 mètres avec des coefficients de 2, la part des déplacements directs est supérieure à celle donnée par TERESE et ce au détriment des déplacements comprenant une correspondance. Par contre la part des déplacements intégrant deux correspondances et plus est quasiment identique à celle de TERESE. Il en va de même si l'on utilise des coefficients différenciés, mais dans ce cas la répartition des déplacements est encore plus proche de celle de TERESE. Pour une distance d'accrochage de 300 mètres la répartition est de nouveau plus équilibrée, la part des déplacements réalisés avec un changement correspondant à celle de TERESE.

On pourrait donc penser que la mise en place d'une distance d'accrochage différenciée entre les stations de bus, les stations de tramway et celles de métro permettrait de d'affiner la répartition et permettre de la rapprocher de celle du modèle TERESE

	TERESE	LET 500m avec	LET 500m avec	LET 300m
--	--------	---------------	---------------	----------

			coefficients par défaut		coefficients TERESE			
Direct	120061	57%	131970	65%	125948	62%	85048	49%
1 correspondance	75377	36%	54944	27%	58698	29%	61417	35%
2 correspondances	13960	7%	14303	7%	16126	8%	21740	13%
3 correspondances	553	0%	2221	1%	2666	1%	4861	3%
Nombre de lignes empruntées pour un déplacement	1,5		1,4		1,5		1,7	

Figure 4.10 : Nombre de déplacements en fonction des ruptures de charge avec pénalités d'accès

Quoiqu'il en soit, les résultats du modèle du LET, notamment pour une distance d'accrochage de 500 mètres, avec pénalité d'accès et avec les coefficients de TERESE, sont relativement satisfaisants et proches de ceux de TERESE.

#### 4.3.1.3 Répartition des déplacements suivant le mode de transport

Comme nous l'avons vu la reconstitution de la fréquentation des lignes peut poser problème lorsque des lignes fictives sont utilisées entre deux changements (cf. 2.1.3) Nous nous contenterons donc d'étudier les fréquentations des modes lourds, pour lesquels aucune ligne fictive n'existe. Là encore nous étudierons le cas sans pénalités d'accès puis avec pénalités d'accès pour des distances d'accrochage de 300 mètres et 500 mètres.

Les résultats de TERESE soulignent un rôle très important des modes lourds car le logiciel leurs donnent une part de 58% sur le total des voyages, ce qui signifie que plus d'un voyage sur deux est effectué par mode lourd à la période de pointe du soir. Ensuite en apparence, la fréquentation des modes lourds est relativement proche de celle de TERESE pour la distance d'accrochage de 500 mètres sans pénalités d'accès avec une différence relative de 16%. Toutefois l'indicateur à considérer est plus la part des modes lourds. En effet cette fois-ci la part est relativement différente du fait du nombre de voyages nettement plus élevé pour le modèle du LET sans pénalités d'accès. Cet écart au niveau des parts est encore un peu plus élevé pour une distance de 300 mètres étant donné que certaines stations de modes lourds sont amenées à être ignorées car en dehors de certaines zones d'accrochage. Bien entendu la part des bus est inversement proportionnelle. Cette différence entre le modèle de la SEMALY et celui du LET peut être expliquée par le fait que dans TERESE les modes lourds sont fortement favorisés notamment du fait du plus faible maillage par rapport à la modélisation du LET. Ainsi les lignes fortes sont particulièrement mises en valeur. Ensuite la fonction de temps généralisée peut être une autre raison car celle que nous avons retenue dans un premier temps, c'est-à-dire sans pénalités d'accès n'avantage en aucun cas les modes lourds comme cela peut être le cas dans TERESE.

	TERESE	LET 500m	LET 300m
--	--------	----------	----------

Métro	A	57737	45647	40814
	B	28839	20010	15895
	C	8356	6104	5732
	D	60437	55417	46677
Tram	T1	13387	13258	13767
	T2	13314	12397	10851
Modes lourds		182070	152833	133736
Part modes lourds dans le total des voyages		58%	43%	39%
Bus		132682	206363	213210
Part bus		42%	57%	61%
Total		314752	359196	346946

Figure 4.11 : Nombre de déplacements en fonction des modes de transport utilisé sans pénalités d'accès

Nous allons donc maintenant voir quels sont les effets de l'ajout d'une pénalité d'accès. Dans un premier temps j'ai testé l'influence d'une pénalité constante pour tous les modes. Je n'ai pas fourni les résultats mais les parts des modes lourds baissent globalement de moitié dans ce cas là. Ceci s'explique par le fait qu'il n'est plus du tout intéressant de rechercher l'usage d'une ligne forte si cela est au prix de plusieurs changements. Ainsi c'est tout naturellement que la fréquentation des modes lourds baisse. Il est également possible d'expliquer une partie de ces différences par le fait que les temps d'attente des métros et tramways, saisis par D.Caubel (2006), sont relativement proches des temps réels Alors que d'un autre coté les temps d'attente des lignes de bus sont sous évalués (cf. 2.1.3) du fait de la codification de lignes fictives. Une autre raison est formule du temps d'attente retenue, avec un coefficient de régularité de 0,5 pour toutes les lignes. De ce fait la régularité des modes lourds n'est en aucun cas considérée dans le modèle du LET, ce qui peut expliquer la part en mode lourd plus faible obtenue avec le modèle du LET.

		TERESE	LET 500m avec coefficients par défaut	LET 500m avec coefficients TERESE	LET 300m
Métro	A	57737	41489	42026	35246
	B	28839	23297	22096	20514
	C	8356	4827	6470	5616
	D	60437	47802	48049	38851
Tram	T1	13387	12483	14389	10774
	T2	13314	10827	11374	10615
Modes lourds		182070	140725	144404	121616
Part modes lourds dans le total des voyages		58%	48%	48%	41%
Bus		132682	153149	158252	171279
Part bus		42%	52%	52%	58%
Total		314752	293874	302656	292895

Figure 4.12 : Nombre de déplacements en fonction des modes de transport utilisé avec pénalités d'accès

Ce n'est qu'après que j'ai ajouté une différenciation entre les modes afin d'avantager les modes lourds en tenant compte du confort accru de ces lignes. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 4.12. On pourra remarquer que le nombre total de voyages par un mode lourd diminue lorsque l'on ajoute la pénalité d'accès différenciée. Toutefois il est important de garder à l'esprit que le nombre de voyages baisse sensiblement lorsque l'on ajoute une pénalité. C'est pourquoi il se trouve que finalement aussi bien avec une distance d'accrochage de 300 que de 500 mètres la part des modes lourds dans le total des voyages augmente. Cette part est naturellement plus forte pour une distance d'accrochage de 500 mètres comme nous l'avons expliqué précédemment. Ainsi elle atteint 48% dans ce cas pour 58% pour le modèle TERESE. Ce pourcentage de 48% est obtenu aussi bien avec les coefficients de 2 ou avec les coefficients de TERESE. Cependant même si les parts globales sont égales on pourra s'apercevoir que le nombre de déplacements effectués avec les lignes lourdes est supérieur d'environ 4000 unités avec les coefficients de 1,75 et 2,8. Ceci est dû à la multiplication de l'usage du métro pour des petits trajets car le temps d'attente est moins pénalisé. Quoiqu'il en soit, sans être identiques, on peut considérer que les parts de TERESE et du LET ne sont pas très éloignées. Les résultats du modèle du LET sont relativement bons, principalement pour une distance d'accrochage de 500 mètres.

Finalement après analyse des indicateurs d'affectation il apparaît qu'un réseau très fin comme celui du LET n'avantage pas forcément les lignes fortes. Ce réseau aurait plutôt tendance à répartir la demande. Toutefois malgré ce phénomène, les résultats sont plutôt bons notamment pour une distance d'accrochage de 500 mètres. Une façon de rapprocher encore les résultats des valeurs de TERESE pourrait être d'augmenter le différentiel entre les pénalités d'accès des modes lourds et celles des bus. Un autre moyen comme nous l'avons déjà vu est la différenciation des distances d'accrochage en fonction des modes. Ceci aurait ainsi comme impact d'augmenter la part des modes lourds mais aussi de coller de façon plus précise au comportement des usagers. Toutefois cette différenciation pourrait également avoir pour effet de réduire le nombre de déplacements pris en compte. En effet on peut supposer que les différences observées entre les déplacements totaux pour des distances d'accrochage de 500 et 300 mètres correspondent aux zones situées en périphérie. Or dans ces zones l'offre en transports lourds est quasi inexistante. Ainsi la différenciation aurait pour effet de conduire à une non prise en compte des zones périphériques. Or nous avons vu que le nombre de déplacements était déjà un peu inférieur à celui de TERESE.

### 4.3.2 Comparaison des différents temps de parcours

Nous allons maintenant voir les indicateurs de temps de parcours qui permettent de connaître la qualité des données telles que les vitesses ou les fréquences par exemple. De la même façon qu'avec les indicateurs d'affectation, nous avons comparé les deux distances d'accrochage de 300 et 500 mètres en prenant en compte ou non les pénalités d'accès et en étudiant éventuellement l'influence des coefficients pondérateurs.

#### 4.3.2.1 *Comparaison des temps globaux*

La comparaison des temps généralisés des modèles TERESE et du LET n'est pas forcément très pertinente car les coefficients retenus ne sont pas les mêmes. Ainsi même si les différences observées entre les modèles TERESE et du LET sont minimales sans pénalités d'accès, elles sont beaucoup plus importantes avec les pénalités. On ne peut réellement tirer d'enseignements de ces indicateurs. Quant aux différences observées entre les distances d'accrochage de 300 et 500 mètres, elles sont la conséquence de deux phénomènes antagonistes. En augmentant la distance d'accrochage, il est possible de trouver un chemin encore plus court en terme de temps généralisé

que celui qui avait été trouvé pour une distance d'accrochage plus faible. Mais en même temps il se peut que la hausse de la distance d'accrochage conduite à la prise en compte d'une origine destination qui n'avait pas été considérée précédemment, les stations de transport étant trop éloignées des centroïdes. Ceci conduirait donc à augmenter le temps généralisé moyen pondéré. C'est pour cette raison que sans pénalités d'accès le temps généralisé moyen est un peu plus grand pour une distance de 500 mètres alors que c'est le phénomène contraire avec des pénalités d'accès.

	TERESE	LET 500m		LET 300m	
Temps généralisé moyen pondéré	2232	2277		2273	
Temps réel moyen pondéré	1217	1582	30%	1613	33%
Temps réel moyen sans marche à pieds	1217	1148	-6%	1277	5%

Figure 4.13 : Temps de parcours moyens pondérés sans pénalités d'accès

Par contre l'ajout de pénalités d'accès a le même effet sur les temps de parcours quelle que soit la distance. Il contribue à augmenter légèrement les temps réels et de façon plus significative, les temps généralisés. La hausse du temps généralisé découle logiquement de l'ajout de termes dans la fonction. Celle des temps réels provient du fait que l'algorithme a pour but de rechercher les plus courts chemins au sens du temps généralisé et non du temps réel. Ainsi la liste des plus courts chemins est différente. Or la fonction de temps généralisé sans pénalité d'accès est celle qui se rapproche le plus du temps réel car elle intègre un terme de moins, ce qui explique la faible augmentation du temps réel lorsque l'on ajoute les pénalités d'accès. Nous observons également dans le tableau 4.14 que le temps généralisé est plus important lorsque l'on applique les coefficients de TERESE. La raison est tout simplement la valeur des coefficients car les différences observées au niveau des temps réels sont très faibles.

Il apparaît que les différences entre les temps réels avec TERESE et avec le modèle du LET sont assez importantes, de l'ordre de 35% avec ou sans pénalités d'accès. Toutefois ces écarts sont en grande partie dus à la différence de calcul des temps d'accès initiaux que nous avons vu dans la partie 4.2. C'est pourquoi si l'on souhaite étudier de façon plus pertinente les temps de parcours, il est nécessaire de comparer le temps réel moyen pondéré du modèle TERESE avec le temps moyen pondéré sans la marche à pied du modèle du LET. Ainsi nous voyons que sans la marche à pieds, les temps réels de parcours sont beaucoup plus proches. Les résultats sont même très bons pour une distance d'accrochage de 500 mètres avec un écart de 6% avec les coefficients par défaut ou même de 2,5% avec les coefficients de TERESE. Même si la différence monte à 9% avec pénalités d'accès pour 300 mètres, les temps restent relativement proches.

	TERESE	LET 500m avec coefficients par défaut		LET 500m avec coefficients TERESE		LET 300m	
Temps généralisé moyen pondéré	2232	2963		3268		3109	
Temps réel moyen pondéré	1217	1621	33%	1627	34%	1676	38%
Temps réel moyen sans marche à pieds	1217	1145	-6%	1183	-2,5%	1332	9%

Figure 4.14 : Temps de parcours moyens pondérés avec pénalités d'accès

Nous avons ainsi vu que les moyennes pondérées sont relativement similaires. Mais il est aussi intéressant de regarder si la répartition des déplacements en fonction de leur durée est également proche de celle de TERESE. Dans un premier temps la comparaison a été réalisée sans pénalités mais surtout, avec la prise en compte de la marche à pieds, ce qui bien entendu a contribué à accroître les temps de parcours et donc à donner une répartition erronée. C'est ce que nous voyons

dans le tableau 4.15 où presque la moitié des déplacements dans le cas de TERESE sont en dessous de 15 minutes alors que seulement 20% le sont pour le modèle du LET.

	TERESE		LET 500m		LET 300m	
Temps réel > 15	109675	52%	162124	79%	143131	81%
Temps réel > 30	39354	19%	64370	31%	59191	34%
Temps réel > 45	12551	6%	19608	10%	17391	10%
Total	209951		203438		175902	

Figure 4.15 : Nombre de déplacements et parts de ces déplacements sur le total par classe de temps réel sans pénalités d'accès

Ensuite la pénalité d'accès a été rajoutée et les temps de marche à pieds ont été soustraits des temps réels. C'est pourquoi, même si la pénalité d'accès conduit à augmenter légèrement les temps réels, la répartition a complètement changé comme nous pouvons le voir dans le tableau 4.16. Les parts des déplacements pour une distance de 500 mètres sont très proches de celles de TERESE voir même identiques. D'un autre côté celles obtenues avec une distance de 300 mètres conduisent à des écarts un peu plus importants mais restant tout de même acceptables.

	TERESE		LET 500m avec coefficients par défaut		LET 500m avec coefficients TERESE		LET 300m	
Temps réel > 15	109675	52%	104055	51%	108848	52%	110235	63%
Temps réel > 30	39354	19%	38142	19%	40416	23%	43562	25%
Temps réel > 45	12551	6%	12202	6%	12512	7%	13840	8%
Total	209951		203438		203438		175902	

Figure 4.16 : Nombre de déplacements et parts de ces déplacements sur le total par classe de temps réel sans marche à pied et avec pénalités d'accès

#### 4.3.2.2 Comparaison des composantes du temps généralisé

Après avoir analysé les temps totaux que sont les temps généralisés et temps réels, il est possible de s'intéresser aux différentes composantes de ces temps ainsi que leur répartition. Comme je l'ai déjà expliqué le calcul des temps d'accès étant différent, la part de la marche sera forcément diminuée. De ce fait il n'est pas pertinent de comparer les parts des temps obtenus avec TERESE avec ceux du LET. Malgré tout nous analyserons l'influence des pénalités d'accès, de la distance d'accrochage ainsi que des coefficients pondérateurs et nous comparerons les temps en véhicule et d'attente. Avant toute chose la première constatation est que les répartitions varient relativement peu en fonction des paramètres cités ci-dessus.

L'augmentation de la distance d'accrochage a pour effet d'allonger le temps d'accès à pieds ce qui est une évolution tout à fait logique. Puis étant donné que l'allongement de la distance a pour



finalité de considérer des chemins supplémentaires, les temps en véhicule et d'attente sont plus faibles pour une distance d'accrochage de 500 mètres.

	TERESE	LET 500m		LET 300m	
temps en véhicule	855	56%	887	59%	953
temps d'attente	354	16%	261	20%	324
Temps d'accès		27%	434	21%	336

Figure 4.17 : Part des différentes phases du déplacement dans le temps réel sans pénalités d'accès

On peut maintenant étudier l'influence de la mise en place d'une pénalité d'accès. Les pénalités ont pour objectif de pénaliser les correspondances. Ainsi il est cohérent de voir que la part des temps d'attente est plus faible à distance d'accrochage égale lorsque l'on prend en compte la pénalité. Et inversement le temps en véhicule est plus important car le nombre de changement est minimisé. Enfin la part des temps d'accès augmente car il devient plus avantageux en terme de coût généralisé d'aller chercher un transport plus loin.

	TERESE	LET 500m avec coefficients par défaut		LET 500m avec coefficients TERESE		LET 300m	
temps en véhicule	855	58%	921	58%	944	64%	1038
temps d'attente	354	14%	224	15%	239	18%	293
Temps d'accès		28%	476	27%	444	21%	344

Figure 4.18 : Part des différentes phases du déplacement dans le temps réel avec pénalités d'accès

Enfin la pondération par les coefficients du modèle TERESE a pour effet de réduire les temps d'accès car ceux-ci sont plus pénalisés. Inversement les temps d'attente augmentent car la valeur du coefficient est plus faible.

Si l'on compare maintenant les temps en véhicule obtenus avec TERESE avec ceux du LET, il apparaît que notre modèle contribue à surévaluer les temps en véhicule. Cette différence peut venir de la codification des vitesses, ce qui signifierait que les vitesses des lignes ont été globalement surévaluées. Toutefois il est difficile de savoir si l'écart de 8 à 10% observé entre TERESE et les distances d'accrochage de 500 mètres est dû à la qualité des données ou alors à l'algorithme de recherche des plus courts chemins.

Il est également possible d'observer les temps d'attente. Cette fois les résultats du modèle du LET sont inférieurs d'environ 35% à ceux de TERESE, la différence étant un peu moins importante lorsqu'on applique les coefficients de TERESE. Cet écart significatif s'explique par la forme de la courbe du temps d'attente que nous avons décidé de retenir. La courbe que nous avons choisie figure dans la partie 4.1. Dans le cas de TERESE, pour chaque ligne le temps d'attente est déterminé par une des deux relations suivantes :

- temps d'attente = intervalle \* coefficient de régularité, le coefficient de régularité étant compris entre 0.6 et 0.75 ;
- temps d'attente = intervalle / (((intervalle - 120) / 1200) + 1) , cette formule est appliquée lorsque le coefficient de régularité est nul.

L'écart s'explique également par l'utilisation de lignes fictives, pour lesquelles nous avons vu que les temps d'attente étaient sous évalués. Malgré tout les écarts ne sont pas catastrophiques et si on

applique un coefficient différent de 0.5 comme par exemple 0.65, les différences sont plus faibles. La différence est alors de 26%. Ainsi le non calage des différents paramètres peut conduire à des erreurs et se révèle être un problème.

Finalement l'analyse des indicateurs de temps nous conduit à penser que les données saisies par D.Caubel (2006) et présentées dans la partie 3.1 telles que les temps de parcours ou les intervalles de passage des véhicules posent quelques problèmes notamment pour le calcul des temps d'attente. Toutefois les données ne sont pas seules responsables des écarts observés, et les choix des paramètres tels que les coefficients de régularité ont une grande importance. Malgré tout les résultats plus globaux sont relativement satisfaisants.

## CONCLUSION

Avant toutes choses il paraît nécessaire de rappeler les objectifs du TFE. Celui ci avait pour but de tester la faisabilité de l'utilisation de données simples d'accès telles que les données de la Keolis Lyon pour réaliser la phase d'affectation des transports en commun du projet SIMBAD. Ainsi l'objectif premier n'était pas réellement de programmer un nouvel algorithme, même si nous avons vu qu'un certain nombre de modifications ont été apportées afin de pouvoir comparer le modèle du LET et le modèle TERESE de la SEMALY.

L'analyse des résultats effectuée dans la partie précédente peut permettre de tirer quelques enseignements. Globalement les indicateurs obtenus sont satisfaisants, les différences observées avec le modèle TERESE étant correctes. Toutefois ceci n'est réellement vrai que pour une distance d'accrochage de 500 mètres, le nombre de déplacements considérés étant trop faible si l'on prend une distance inférieure. Il est également nécessaire d'appliquer des pénalités d'accès après chaque rupture de charge. Le maillage important du réseau modélisé a pour effet de « diluer » un peu l'affectation de la demande, mais l'importance toute particulière des lignes de transport en site propre reste tout de même évidente avec un voyage sur deux réalisé sur une ligne de ce type. De même la finesse de la description du réseau n'a pas pour effet d'augmenter le nombre moyen de changement pour réaliser un trajet. Malgré les simplifications inhérentes aux données relatives au temps tels que les vitesses ou les fréquences, les indicateurs nous amènent à penser que l'affectation réalisée par le modèle du LET est relativement satisfaisante. Ainsi les résultats obtenus sont dans l'ensemble bons. Il faut toutefois préciser qu'il est difficile de déterminer quelle est la part d'erreur due à la codification du réseau et celle due à l'algorithme de recherche de plus court chemin employé qui présente quelques défauts. La définition des lignes fictives quant à elle pose problème car elle ne permet pas actuellement de calculer la fréquentation sur les lignes de bus. Toutefois la façon dont elles sont traitées paraît satisfaisante pour l'obtention de valeurs globales et des matrices origine destinations des temps généralisés ou réels.

Prenons maintenant un peu de recul et revenons au projet SIMBAD. Nous avons pu voir dans l'analyse que le traitement des zones périphériques pouvait poser des problèmes, l'offre en transport en commun étant réduite. De ce fait la prise en compte des déplacements multimodaux pourrait être une solution afin de modéliser d'éventuelles politiques visant à développer ce type de pratiques. Toutefois ceci passerait par une modification de l'architecture du projet SIMBAD, les phases de répartitions modales n'étant plus séparées.



# ANNEXES

**ANNEXE A**      Calcul des vitesses VP

**ANNEXE B**      Algorithme de recherche du plus court  
chemin de MoStra

**ANNEXE C**      Programme d'affectation TC modifié du  
LET



## ANNEXE A

Le but de cette annexe est de présenter le mode de calcul des vitesses des déplacements automobiles à l'heure de pointe du soir.

Le géocodage des vitesses automobiles se fonde sur les bases de données de l'Institut National Géographique. Il s'agit de BDCARTO© qui renseigne la partie interurbaine et GEOROUTE© pour la partie urbaine. Ces deux bases de données permettent d'obtenir le descriptif des voies de l'aire urbaine lyonnaise.

Ensuite David Caubel a choisi d'utiliser les vitesses interurbaines fournies dans le SIG Route 66 Express© pour chaque type de voie. En partant de ces vitesses, si une infrastructure est présente sur les tronçons routiers, la vitesse affectée est de 80% la vitesse sans tunnel sur ce même type de voie. Enfin les vitesses appliquées sur les voies urbaines sont les vitesses interurbaines pour la même classe de voie diminuées d'un pourcentage X.

	Interurbain	Tunnel interurbain	Urbain	Tunnel urbain
Autoroutes	100	80% . 100	(1-X%) . 100	(1-X%) . 80% . 100
Voies rapides	90	80% . 90	(1-X%) . 90	(1-X%) . 80% . 90
Routes principales	70	80% . 70	(1-X%) . 70	(1-X%) . 80% . 70
Routes nationales/secondaires	50	80% . 50	(1-X%) . 50	(1-X%) . 80% . 50
Routes départementales	40	80% . 40	(1-X%) . 40	(1-X%) . 80% . 40
Routes municipales	30	80% . 30	(1-X%) . 30	(1-X%) . 80% . 30
Rues	20	80% . 20	(1-X%) . 20	(1-X%) . 80% . 20

Figure 0.1 : Principe d'affectation des vitesses (sources D.Caubel et Route 66 Express©)

Ce coefficient X est censé modéliser la diminution de la vitesse du fait du passage en milieu urbain mais également à l'heure de pointe du soir. Il est nécessaire de caler ce coefficient. La détermination du coefficient a été effectuée à partir de l'enquête ménage déplacement de l'agglomération lyonnaise de 1995. Le principe est d'estimer la vitesse moyenne obtenue d'après l'enquête avec celle obtenue d'après le SIG GEOCONCEPT©, c'est-à-dire les vitesses que nous venons de voir.

La vitesse moyenne donnée par l'enquête ménage est calculée de la façon suivante :

- Les déplacements pris en compte sont effectués à l'intérieur de Lyon-Villeurbanne entre 17h30 et 20h30
- L'enquête ménage donne les distances DVO, à vol d'oiseau, des déplacements. Toutefois afin de rendre compte de façon plus réaliste des distances, les distances rectilinéaires pondérées selon les relations suivantes ont été utilisées :

$$DRP = \begin{cases} DVO \times \left( 1,1 + 0,3 \times e^{-\frac{DVO}{20}} \right) & \text{si } DVO \leq 20km \\ DVO \times 1,1 & \text{si } DVO \geq 20km \end{cases}$$

Pour le calcul des distances de déplacements intrazonaux, les zones ont été assimilées à des disques de surface S, la distance des déplacements étant donc  $D = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$

- La vitesse moyenne est ensuite considérée comme le rapport du total des distances des déplacements par le total des temps de déplacement. La vitesse ainsi obtenue est de 13,6 km/h.

D'un autre côté la vitesse moyenne issue des bases de données et du SIG Route 66 Express© est obtenue en faisant une moyenne sur les réseaux routiers de Lyon et Villeurbanne :

- La longueur cumulée est obtenue en sommant les longueurs de tous les tronçons routiers situés à l'intérieur de la zone.
- Pour un tronçon routier, la durée de parcours de ce tronçon est donnée par  $T_t = L_t / V_t$  où  $V_t$  est la vitesse affectée sur le tronçon.

Ainsi la vitesse moyenne est donnée par la formule : 
$$V = \frac{\sum_{\text{tronçons}} L_t}{\sum_{\text{tronçons}} L_t / V_t}$$

Le processus de calage est itératif et dichotomique. Il continue tant que l'écart entre les deux vitesses moyennes est supérieur à 5%. Initialement le coefficient X est fixé à 25%. Tant que ce n'est pas le cas, le coefficient X est réévalué à chaque étape à la hausse ou la baisse.

Finalement le coefficient a été évalué à 37,5% ce qui correspond à une vitesse moyenne de 12,95 km/h et un écart de 4,7% par rapport à la vitesse moyenne issue de l'enquête ménage.



## ANNEXE B

For i = 1 To 25

For n = 1 To 3

For j = 1 To 25

For k = 1 To 25

If  $\text{TpsInt}(i, j) + \text{CAV}(j, k) < \text{TpsInt}(i, k)$  \_

And  $\text{TpsInt}(i, j) + \text{CAV}(j, k) < \text{TpsIntt}(i, k)$  Then

$\text{TpsIntt}(i, k) = \text{TpsInt}(i, j) + \text{CAV}(j, k)$

End If

If  $\text{TpsInt}(i, j) + \text{CAVR}(j, k) < \text{TpsPccT}(i, k)$  Then

$\text{TpsPccT}(i, k) = \text{TpsInt}(i, j) + \text{CAVR}(j, k)$

End If

Next k

Next j

For j = 1 To 25

If  $\text{TpsInt}(i, j) > \text{TpsIntt}(i, j)$  Then  $\text{TpsInt}(i, j) = \text{TpsIntt}(i, j)$

Next j

Next n

For j = 1 To 25

$\text{ActiveCell.Offset}(78 + i, j).Value = \text{Application.Min}(\text{TpsPccT}(i, j) / 1.8, 120)$

Next j

Next i



## ANNEXE C

-----  
'Déclaration des Variables  
-----

Const Forreading = 1, Forwriting = 2

Dim Fso, Iris, Nœuds        '*variables pour création des sommets initiaux*

Dim Xi, Yi, Xn, Yn         '*variables des coordonnées*

Dim Count, Idiris, Ndi, Ndj, Cle, Countiris   '*variables de compteur*

Dim Distance       '*variables de calcul de distances*

Dim I, J           '*variables de compteur de boucles*

Dim Accrochage       '*distance d'accrochage*

Dim Irisaccroches       '*fichiers des IRIS accrochés entre IRIS et sommets initiaux*

Dim Sommetacc       '*fichier des sommets accrochables*

Dim Noeudsacc       '*fichier des noeuds accrochables avec élimination des doublons*

Dim Tempsmapied       '*Fichier de temps marche à pied entre iris et noeuds accrochables*

Dim Nbena           '*nbe de noeuds accrochables*

Dim Vitessemap       '*vitesse de marche à pied (parcours entre l'IRIS et le sommet d'accrochage)*

Dim Tempsmap       '*temps de marche à pied*

Dim Ncc

Dim Mytime1, Mytime2, Mytime3

Dim Rapport

Dim Matligne, Matcolonne, Tps, Nl, Lignes, Freq, Pen       '*fichiers des clés, temps, nombre de lignes, numéro des lignes, et des fréquences*

Dim Arcsres

Dim Noeudsres

Arcsres = 4290

Noeudsres = 1876

-----  
'*procédure d'accrochage des IRIS*

'*création de deux fichiers*

'*fichier n°1 : les IRIS accrochés et les sommets initiaux où ils sont accrochés*

'*fichier n°2 : les noeud initiaux, correspondant à des stations du réseau TC*

'*fichier n°3 : les distances d'accrochage (en mètres) entre les IRIS et les sommets initiaux*  
-----

*'ouverture des fichiers*

```
Set Fso = Createobject("Scripting.FileSystemObject")
Set Noeuds = Fso.opentextfile("C:\Comparaison\data\coordonnées des noeuds2.txt", Forreading)
Set Iris = Fso.opentextfile("C:\Comparaison\data\CentoidesIRISAUL.txt", Forreading)
Set Irisaccroches = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\IRISaccroches (avec doublons).txt",
Forwriting, True)
Set Sommetacc = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Noeudsaccroches (avec doublons).txt",
Forwriting, True)
Set Tempsmapied = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\tempsmap.txt", Forwriting, True)

Set Rapport = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Rapport des temps de calcul.txt", Forwriting, True)
```

```
Noeuds.Skipline
Iris.skipline
```

*'interrogation : on demande d'entrer la distance d'accrochage*

```
Accrochage = Inputbox("entrez la distance d'accrochage en mètres")
Vitessemap = Inputbox("entrer la vitesse de marche à pied (en km/h)")
```

```
Mytime1 = Timer
```

```
Irisaccroches.Writeline "Xi;"&"Yi;"&"DCOMIRIS;"&"n° du sommet initial possible;"&"Xsommet
initial;"&"Ysommet initial;"&"Distance DCOMIRIS - sommet (en mètres);"&"Temps de marche à pied (en
heure)"
```

```
Count = 0
```

```
For I = 1 To 777
```

```
    Idiris = Iris.Read(9)
    Iris.Read(1)
    Xi = Iris.Read(6)
    Iris.Read(1)
    Yi = Iris.Readline
```

```
For J = 1 To Noeudsres
```

```
    Xn = Noeuds.Read(6)
    Noeuds.Read(1)
    Yn = Noeuds.Read(7)
    Noeuds.Readline
```

```
    Distance = Sqr((Xi-Xn)*(Xi-Xn)+(Yi-Yn)*(Yi-Yn))
    Tempsmap = (Distance/1000)/Vitessemap
```

```

        If Distance <= Cint(Accrochage) Then
            Irisaccroches.Writeline
            Xi&","&Yi&","&Idiris&","&J&","&Xn&","&Yn&","&Distance&","&Tempsmap
            Sommetacc.Writeline Xn&","&Yn&","&J
            Tempsmapied.Writeline Tempsmap
            Count = Count+1
            End If
        Next

        Noeuds.Close
        Set Noeuds = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\coordonnées des noeuds2.txt", Forreading)

        Noeuds.Skipline
    Next

    Nbeno = Count
    Countiris = Count

    Noeuds.Close
    RIS.Close
    IRISaccroches.Close
    Sommetacc.Close
    Tempsmapied.Close

    Mytime2 = Timer
    Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60

    Rapport.Writeline "Noeuds potentiellement accrochés aux IRIS. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"

    '-----
    ' fin de la procédure d'accrochage des IRIS
    '-----

    '-----
    ' Elimination des doublons dans le fichier des noeuds accrochables
    '-----

    Set Sommetacc = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Noeudsaccroches (avec doublons).txt",
    Forreading)

    Dim Table2, Table3
    Redim Clenoeudsinitiaux(Noeudsres)
    Set Table2 = Createobject("scripting.dictionary")

```

```
Set Table3 = Createobject("scripting.dictionary")
```

```
Count = 0
```

```
For I = 1 To Nbena
```

```
    Xn = Sommetacc.Read(6)
```

```
    Sommetacc.Read(1)
```

```
    Yn = Sommetacc.Read(7)
```

```
    Sommetacc.Read(1)
```

```
    Cle = Sommetacc.Readline
```

```
    If Table3.Exists(Xn&Yn) = False Then
```

```
        Count = Count+1
```

```
        Table2.Add(Count), Xn&" "&Yn&" "&Cle
```

```
        Clenoedsinitiaux(Count) = Cle
```

```
        Table3.Add(Xn&Yn), 1
```

```
    End If
```

```
Next
```

```
Sommetacc.Close
```

```
Set Noeudsacc = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Noeudsacroches (sans doublons).txt",  
Forwriting, True)
```

```
For I = 1 To Table3.Count
```

```
    Noeudsacc.Writeline Table2(I)
```

```
Next
```

```
Nbena = Count
```

```
Table2.Removeall
```

```
Table3.Removeall
```

```
Noeudsacc.Close
```

```
'-----  
'Procédure de création du tableau des noeuds à traiter  
'-----
```

```
Redim Ndatr(Nbena,Noeudsres) 'tableau des noeuds à traiter
```

```
Mytime1 = Timer
```

```
For I = 1 To Nbena
```

```
    For J = 1 To Noeudsres
```

```
        Ndatr(I,J) = -(Clenoedsinitiaux(I)<>J)*1
```

```
    Next
```

Next

Mytime2 = Timer

Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60

Rapport.Writeline "Tableau des noeuds à traités créé. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"

'-----  
'Procédure de création du tableau des temps de parcours pour chaque arcs du réseau de TC  
'de création du tableau donnant le nombre de ligne TC par arc  
'de création des tableaux des lignes TC détaillées ou pas  
'de création du tableau des temps d'attente des lignes TC par arc  
'de création du tableau des pénalités d'accès des lignes TC par arc  
'-----

Redim Arc(Noeudsres,Noeudsres) *'tableau donnant l'identifiant des arcs*

Redim Tpsarc(Arcsres) *'tableau des temps de parcours sur les arcs*

Redim Nblign(Arcsres) *'tableau donnant le nombre de lignes sur les arcs*

Redim Lignarc(Arcsres) *'tableau donnant les n° des lignes sur les arcs*

Redim Freqs(Arcsres) *'tableau donnant les temps d'attente des lignes sur les arcs*

Redim Penalite(Arcsres) *'tableau donnant les pénalités des lignes sur les arcs*

Dim Val1, Val2, Arcval

Mytime1= Timer

For I = 1 To Noeudsres

For J=I To Noeudsres

Arc(I,J) = "@"

Arc(J,I) = "@"

Next

Next

Set Matligne = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\ClearcLigne.txt", Forreading)

Set Matcolonne = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\ClearcColonne.txt", Forreading)

Set Tps = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Temps sans rupture.txt", Forreading)

Set Nl = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\NbeLignes de bus.txt", Forreading)

Set Freq = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\fréquence.txt", Forreading)

Set Pen = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Pénalité.txt", Forreading)

Set Lignes = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Lignes de bus.txt", Forreading)

Matligne.Skipline

Matcolonne.Skipline

Tps.Skipline

Nl.Skipline  
Freq.Skipline  
Pen.Skipline  
Lignes.Skipline

```
For I = 1 To Arcsres
    Matligne.Read(7)
    Matcolonne.Read(7)
    Tps.Read(7)
    Nl.Read(7)
    Freq.Read(7)
    Pen.Read(7)
    Lignes.Read(7)
    Val1 = Matligne.Readline
    Val2 = Matcolonne.Readline
    Arc(Val1,Val2) = I
    Tpsarc(I) = Cdbl(Tps.Readline)
    Nblign(I) = Cdbl(Nl.Readline)
    Lignarc(I) = Lignes.Readline
    Freqs(I) = Cdbl(Freq.Readline)
    Penalite(I) = Cdbl(Pen.Readline)
Next
```

Matligne.Close  
Matcolonne.Close  
Tps.Close  
Nl.Close  
Freq.Close  
Pen.Close  
Lignes.Close

Mytime2 = Timer  
Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60

Rapport.Writeline "Tableaux des temps des arcs, des fréquences et des lignes sur l'arc sans détail créés. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"

Mytime1 = Timer

*'récupération des numéros de lignes de bus par arcs (détails)*

Redim Lign(Arcsres,30) *'tableau donnant les n° des lignes sur les arcs détaillés*

Set Matligne = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\ClearcLigne.txt", Forreading)



```
Set Matcolonne = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\ClearcColonne.txt", Forreading)
Set Lignes = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Lignes de bus.txt", Forreading)
```

```
Matligne.Skipline
Matcolonne.Skipline
Lignes.Skipline
```

```
For I = 1 To Arcsres
    Matligne.Read(7)
    Matcolonne.Read(7)
    Lignes.Read(7)
    Val1 = Matligne.Readline
    Val2 = Matcolonne.Readline
        For J = 1 To Nblign(Arc(Val1,Val2))
            Lign(Arc(Val1,Val2),J) = Lignes.Read(5)
        Next
    Lignes.Readline
Next
```

```
Matligne.Close
Matcolonne.Close
Lignes.Close
```

```
Mytime2 = Timer
Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60
```

```
Rapport.Writeline "Tableau des lignes détaillées créés. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"
```

```
'-----
'procédure de création du tableau des lignes TC du dernier arc A sur le chemin entre un noeud initial SI
'et un noeud N
'initialisé à vide
'-----
```

```
Redim Ensemblelignes(Nbena,Noeudsres) 'tableau donnant l'ensemble des lignes TC sur le dernier arc
du chemin entre un noeud initial et un noeud N du réseau TC
```

```
Mytime1 = Timer
```

```
For I = 1 To Nbena
    For J = 1 To Noeudsres
        Arcval=Arc(Clenoeudsinitiaux(I),J)
        If (Arcval<>"@") Then
            Ensemblelignes(I,J) = Lignarc(Arcval)
```

```

                End If
            Next
        Next

Mytime2 = Timer
Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60

Rapport.Writeline "Tableau de l'ensemble des lignes créé. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"

'-----
'Procédure de création du tableau des successeurs d'un noeud
'identification des noeuds j, directement et uniquement lié au noeud i par un seul arc
'pour l'ensemble du réseau de TC
'-----

Dim Successeur 'fichier des successeurs

Redim Succ(Noeudsres,50)      'tableau des successeurs d'un noeud
Redim Nbesucc(Noeudsres)     'tableau du nombre de successeurs de chaque noeud

Mytime1 = Timer

Set Successeur = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Successeurs.txt", Forwriting, True)

    For I = 1 To Noeudsres
        Count = 0
        For J = 1 To Noeudsres
            If (Arc(I,J)<>"@") Then
                Count = Count + 1
                Succ(I,Count)= J
            End If
        Next
        Nbesucc(I) = Count
        Successeur.Writeline Count
    Next

Mytime2 = Timer
Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60

Successeur.Close

Rapport.Writeline "Tableaux des successeurs créés. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"

```

-----

*'Procédure de création :*

*'Du tableau des temps généralisés depuis un noeud initial vers un noeud N*

*'du tableau des temps d'attente depuis un noeud initial vers un noeud N*

*'du tableau de la somme des pénalités d'accès depuis un noeud initial vers un noeud N*

*'du tableau donnant la clé du noeud N (dernier noeud du chemin depuis un noeud initial)*

*'du tableau donnant la place de la clé du noeud N (dernier noeud du chemin depuis un noeud initial) dans les tableaux*

*'les temps généralisés sont initialisés avec le temps de parcours + temps d'attente entre un noeud initial et un noeud N + somme des pénalités d'accès si et seulement si il existe un arc unique liant le noeud initial au Noeud N*

*'les temps d'attente sont initialisés entre un noeud initial et un noeud N si et seulement si il existe un arc unique liant le noeud initial au noeud N*

*'les pénalités d'accès sont initialisés entre un noeud initial et un noeud N si et seulement si il existe un arc unique liant le noeud initial au noeud N*

-----

Redim Tpsg(Nbena,Noeudsres) *'tableau des temps généralisés depuis un noeud initial vers un noeud N*

Redim Attente(Nbena,Noeudsres) *'tableau des temps d'attente depuis un noeud initial vers un noeud N*

Redim Acces(Nbena,Noeudsres) *'tableau des pénalités d'accès depuis un noeud initial vers un noeud N*

Redim Clecouts(Nbena,Noeudsres) *'tableau donnant la clé du noeud N*

Redim Pcouts(Nbena,Noeudsres) *'tableau donnant la place de la clé du noeud N dans les tableaux*

Dim Cct

Mytime1 = Timer

```

For I = 1 To Nbena          'initialisation des tableaux des temps généralisés et temps d'attente
  For J = 1 To Noeudsres
    Tpsg(I,J) = 999
    Attente(I,J) = 0
    Acces(I,J) = 0
  Next
Next

```

```

For I = 1 To Nbena          'MAJ des tableaux des temps généralisés, temps d'attente et pénalités d'accès avec les valeurs des temps des arcs
  For J = 1 To Noeudsres
    Arcval = Arc(Clenoeudsinitiaux(I),J)
    If (Arcval<>"@") Then
      Tpsg(I,J) = Tpsarc(Arcval)+2*Freqs(Arcval)/60+Penalite(Arcval)/60
      Attente(I,J) = Freqs(Arcval)/60
      Acces(I,J) = Penalite(Arcval)/60
    End If
    Clecouts(I,J)=J
  Next
Next

```

Next

For I = 1 To Nbeno                    *'temps généralisés, temps d'attente et pénalités d'accès mis égal à 0  
quand le noeud N et le noeud initial coïncide*

    Ndi = Clenoeadsinitiaux(I)

    Tpsg(I,Ndi) = 0

    Attente(I,Ndi) = 0

    Acces (I,Ndi) = 0

Next

Mytime2 = Timer

Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60

Rapport.Writeline "dictionnaire des couts généralisés créé. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"

'-----  
*'Procédure de tri des temps généralisés, des temps d'attente et des pénalités d'accès(triés du plus petit au  
plus grand)*  
'-----

Mytime1 = Timer

For I = 1 To Nbeno

    Ndi = Clenoeadsinitiaux(I)

    Call Tri(Tpsg,Attente,Acces,Clecouts,I,Noeadsres)

Next

For I = 1 To Nbeno                    *'MAJ de la place de la clé d'un noeud pour retrouver les valeurs  
correspondantes dans les tableaux triés*

For J = 1 To Noeadsres

    Pcouts(I,Clecouts(I,J)) = J

Next

Next

Mytime2 = Timer

Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60

Rapport.Writeline "Tableau des couts généralisés trié par ordre croissant. Durée de calcul : "&Mytime3&"  
minutes"

'-----  
*'Procédure donnant un tableau des lignes de bus utilisés dans le calcul du plus court chemin entre un  
noeud initial  
'et un noeud N*

-----  
Redim Lignesbusused(Nbena,Noeudsres) *'tableau donnant l'ensemble des lignes utilisés depuis un noeud initial vers un noeud N*

Mytime1 = Timer

For I = 1 To Nbena

For J = 1 To Noeudsres

Arcval=Arc(Clenoeudsinitiaux(I,J))

If (Arcval<>"@") Then

Lignesbusused(I,J) = Lignarc(Arcval)

End If

Next

Next

Mytime2 = Timer

Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60

Rapport.Writeline "Lignes de bus utilisées créées. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"

-----  
*'Algorithme de Dijkstra*

*'fonctionnement de l'algorithme qui cherche les plus courts chemins*

*'depuis un noeud initial vers l'ensemble des noeuds du réseau de TC*

*'on inclut les ruptures de charge (changement de bus, métro, tramway)*

*'on inclut une sortie des temps d'attente totaux sur les chemins*

*'on inclut une sortie du nombre de correspondance sur les chemins*

*'on inclut une sortie donnant l'ensemble des lignes TC utilisés sur les chemins*

-----  
Dim K

Dim Cout1, Cout2, Attente1, Attente2, Penalite1, Penalite2

Dim Clesuc, Placesuc

Dim Rupture

Redim Nbecorresp(Nbena,Noeudsres) *'tableau donnant le nombre de correspondance depuis un noeud initial vers un noeud N*

Dim Lutil, Nc

Dim Nouvelleligne

Mytime1 = Timer

For I = 1 To Nbena

*'tableau du nombre de correspondance initialisé à 0*

For J = 1 To Noeudsres

```

        Nbecorresp(I,J) = 0
    Next
Next

Count = 0

For I = 1 To Nbena      ' pour chaque noeud initial

    For J = 1 To Noeudsres  ' Tant que le tableau des noeuds à traiter n'est pas vide
        Cle = Clecouts(I,J)      ' on récupère la clé C du noeuds N de temps généralisé minimal

        If Ndatr(I,Cle)= 1 Then  ' si le noeuds N est dans les noeuds à traiter
            Ndatr(I,Cle)= 0  'Retirer le noeuds N du tableau des noeuds à traiter
            Nc = Nbecorresp(I,Cle)
            Lutil = Lignesbusused(I,Cle)

```

*'Pour chaque noeuds successeurs K du noeuds N, avec K dans les noeuds à traiter on calcule le nouveau temps généralisé (plus court chemin)*

```

        For K = 1 To Nbesucc(Cle)
            Clesuc = Succ(Cle,K)
            Placesuc = Pcouts(I,Clesuc)
            Arcval = Arc(Cle,Clesuc)

            Rupture =
            rupturedecharge(Cle,Clesuc,I,Ensemblelignes,Lign,Lignarc,Arc,Nblign)
            'calcul s'il y a rupture de charge

            Nouvelleligne = Lignarc(Arcval)

            Cout1 = Tpsg(I,Placesuc)
            Attente1 = Attente(I,Placesuc)
            Penalite1 = Acces(I,Placesuc)

            Cout2 = Tpsg(I,J)+Tpsarc(Arcval)-
            (Rupture=1)Or(Rupture=3))*((2*Freqs(Arcval)/60)+Penalite(Arcval)/60)
            Attente2 = Attente(I,J)-((Rupture=1)Or(Rupture=3))*Freqs(Arcval)/60
            Penalite2 = Acces(I,J)-((Rupture=1)Or(Rupture=3))*Penalite(Arcval)/60

```

*'si le temps généralisé du noeud initial jusqu'au successeur n°K du noeuds N est supérieur au temps généralisé du noeud initial jusqu'au noeuds N + le temps de parcours de N au successeur n°K de N + (éventuel temps d'attente, s'il y a rupture de charge)+(éventuel pénalité d'accès, s'il y a rupture de charge) alors :*

*on remplace le temps généralisé dans le chemin du noeud initial au noeud K'on met à jour le temps total d'attente dans le chemin du noeud initial au noeud K*

*on met à jour la somme des pénalités d'accès dans le chemin du noeud initial au noeud K*

*on met à jour le nombre de correspondance dans le chemin du noeud initial au noeud K*

*on met à jour les lignes TC du dernier arc du chemin allant du noeud initial au noeud K  
on met à jour l'ensemble des lignes TC utilisés sur le chemin du noeud initial au noeud K*

```
If Cout1 > Cout2 Then
    Tpsg(I,Placesuc) = Cout2
    Attente(I,Placesuc) = Attente2
    Acces(I,Placesuc) = Penalite2
```

```
Select Case Rupture
```

```
Case 1
```

```
Ensemblelignes(I,Clesuc) = Nouvelleligne
Nbecorresp(I,Clesuc) = Nc
Lignesbusused(I,Clesuc) = Nouvelleligne
```

```
Case 2
```

```
Ensemblelignes(I,Clesuc) = Ensemblelignes(I,Cle)
Nbecorresp(I,Clesuc) = Nc
Lignesbusused(I,Clesuc) = Lutil
```

```
Case 3
```

```
Ensemblelignes(I,Clesuc) = Nouvelleligne
Nbecorresp(I,Clesuc) = Nc+1
Lignesbusused(I,Clesuc) = Lutil&" / "&Nouvelleligne
```

```
Case 4
```

```
Ensemblelignes(I,Clesuc) = Nouvelleligne
Nbecorresp(I,Clesuc) = Nc
Lignesbusused(I,Clesuc) = Lutil
```

```
End Select
```

*'la percolation sert à retriier dans l'ordre croissant le tableau des temps généralisés*

```
Call Percolation(Tpsg, Attente,Acces, Clecouts, Pcouts, I, J, Placesuc)
```

```
End If
```

```
Next
```

```
End If
```

```
Next
```

```
Next
```

```
Mytime2 = Timer
```

```
Mytime3 = (Mytime2-Mytime1)/60
```

```
Rapport.Writeline "Algorithme de Dijkstra fini. Durée de calcul : "&Mytime3&" minutes"
```

```

Erase Ndatr
Redim Ndatr(0,0)
Erase Arc
Redim Arc(0,0)
Erase Tpsarc
Redim Tpsarc(0,0)
Erase Nblign
Redim Nblign(0,0)
Erase Lignarc
Redim Lignarc(0,0)
Erase Freqs
Redim Freqs(0,0)
Erase Penalite
Redim Penalite(0,0)
Erase Lign
Redim Lign(0,0)
Erase Ensemblelignes
Redim Ensemblelignes(0,0)
Erase Succ
Redim Succ(0,0)
Erase Nbesucc
Redim Nbesucc(0,0)
Erase Clecouts
Redim Clecouts(0,0)

```

```

'-----
'-----
'Sortie sur fichier du plus court chemin depuis les noeuds accrochables aux IRIS vers tous les noeuds
'accrochables aux IRIS
'-----
'-----

```

```

Dim Nacnac     'fichier des plus courts chemins depuis les noeuds accrochables vers les noeuds
                  'accrochables

```

```

Set Nacnac = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Matrice OD (noeuds accrochables).txt", Forwriting,
True)

```

```

Nacnac.Writeline "num noeud i;"&"num noeud f;"&"TG (en heure);"&"TA total (en
heure);"&"Penalite;"&"NBE corresp;"&"lignes"

```

```

For I = 1 To Nbena
    Ndi = Clenoeudsinitiaux(I)

```



```

For J = 1 To Nbeno
  Cle = Clenoedsinitiaux(J)
  Ndj = Pcouts(I,Cle)
  Nacnac.Writeline
  Ndi&" "&Cle&" "&Tpsg(I,Ndj)&" "&Attente(I,Ndj)&" "&Acces(I,Ndj)&" "&Nbecorresp(I,Cle)&" "&Ligne
  sbused(I,Cle)
  Next
Next

```

```

Nacnac.Close

```

```

Rapport.Writeline "Calcul des plus courts chemin fini"

```

```

'-----
'-----
'Procédure de sortie de la matrice OD des plus courts chemin entre centroïdes d'IRIS
'-----
'-----

```

```

'-----
'Elimination des doublons dans le fichier des IRIS accrochés
'-----

```

```

Set Irisaccroches = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\IRISaccroches (avec doublons).txt",
Forreading)

```

```

Dim Table4, Table5
Dim Irisacc      'fichier des iris accrochés sans doublons
Dim Dcomiris
Set Table4 = Createobject("scripting.dictionary")
Set Irisacc = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Irisaccroches (sans doublons).txt", Forwriting, True)
Dim Ciris

```

```

Irisaccroches.Skipline

```

```

Count = 0

```

```

For I = 1 To Countiris
  Xn = Irisaccroches.Read(6)
  Irisaccroches.Read(1)
  Yn = Irisaccroches.Read(7)
  Irisaccroches.Read(1)
  Dcomiris = Irisaccroches.Read(9)

```

*' on récupère les coordonnées de l'IRIS*

Irisaccroches.Readline

```
If Table4.Exists(Xn&Yn) = False Then      'si l'IRIS est déjà présent on passe au suivant  
    Count = Count+1                      'sinon on le met dans la liste des IRIS sans doublons  
    Irisacc.Writeline Xn&" "&Yn&" "&Dcomiris  
    Table4.Add(Xn&Yn), 1  
End If  
Next
```

```
Irisaccroches.Close  
Ciris = Count  
Table4.Removeall  
Irisacc.Close
```

-----  
*'Procédure donnant un tableau de l'ensemble des noeuds accrochables à un IRIS, un tableau des temps  
MAP  
et un tableau donnant le nombre de noeuds accrochables pour un IRIS*  
-----

```
Redim Numnd(Ciris)
```

```
Redim Tg(Ciris,Ciris)  
Redim Ta(Ciris,Ciris)  
Redim Pe(Ciris,Ciris)  
Redim Nbcor(Ciris,Ciris)  
Redim Numlignes(Ciris,Ciris)  
Redim Coordirissd(Ciris)
```

```
Redim Coordiris(Countiris)  
Redim Ndacc(Countiris)  
Redim Map(Countiris)
```

```
Dim Cc, W, Y, Tg1, Tg2, Aaa, Bbb, Numndmax
```

```
Redim Nod(Nbena)
```

```
Dim Matricecod 'fichier des temps de déplacements OD iris à iris
```

```
Set Irisaccroches = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\IRISaccroches (avec doublons).txt",  
Forreading)
```

```
Set Sommetacc = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Noeudsaccroches (avec doublons).txt",  
Forreading)
```

```

Set Tempsmapied = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\tempsmap.txt", Forreading)
Set Matriceod = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Matrice OD (IRIS).txt", Forwriting, True)
Set Irisacc = Fso.Opentextfile("C:\Comparaison\data\Irisaccroches (sans doublons).txt", Forreading)

```

```
Irisaccroches.Skipline
```

```

For I = 1 To Countiris
  Coordiris(I) = Irisaccroches.Read(24)   'on récupère les coordonnées & DCOMIRIS des IRIS (avec
  doublons)
  Irisaccroches.Readline
  Sommetacc.Read(15)
  Ndacc(I) = Sommetacc.Readline   'on récupère la clé du noeud accrochable à chaque IRIS
  Map(I) = Tempsmapied.Readline   'on récupère le temps de MAP entre chaque noeud accrochable et
  un IRIS accrochés
Next

```

*'calcul du nombre de noeuds maximum accrochables aux IRIS*

```

Cc = "@"
Numndmax = 0
For I = 1 To Countiris
  Count = 0
  If Coordiris(I) <> Cc Then
    For J = 1 To Countiris
      Count = Count - 1 * (Coordiris(I) = Coordiris(J))
    Next
  End If
  Cc = Coordiris(I)
  Numndmax = -Numndmax * (Numndmax >= Count) - Count * (Count > Numndmax)
Next

```

*calcul de 3 tableaux :*

*celui donnant pour un IRIS, la liste des clé des noeuds accrochables*

*celui donnant pour un IRIS, la liste des temps de MAP jusqu'aux noeuds accrochables*

*celui donnant pour un IRIS, le nombre de noeuds accrochables*

```

Redim Nac(Ciris, Numndmax)
Redim Tpsmap(Ciris, Numndmax)
Redim Position(Ciris, Numndmax)

```

```

Cc = "@"
Valeur = 0

```

```

For I = 1 To Countiris

```

```

Count = 0
If Coordiris(I) <> Cc Then
    Valeur = Valeur + 1
    For J = 1 To Countiris
        If Coordiris(I) = Coordiris(J) Then
            Count = Count + 1
            Nac(Valeur, Count) = Ndacc(J)    donne la clé de chaque noeud
accrochable à un IRIS
            Tpsmap(Valeur, Count) = Map(J)    'donne le tps map depuis un IRIS
jusqu'à un des noeuds accrochables
            Numnd(Valeur) = Count            'donne le nombre de noeuds
accrochable à un IRIS
        End If
    Next
End If
Cc = Coordiris(I)
Next

```

```

Irisaccroches.Close
Sommetacc.Close
Tempsmapied.Close

```

```

Set Noeudsacc = Fso.OpenTextfile("C:\Comparaison\data\Noeudsaccroches (sans doublons).txt",
Forreading)

```

```

For I = 1 To Nbena
    Noeudsacc.Read(15)
    Nod(I) = Noeudsacc.Readline    'donne la clé des noeuds accrochables sans doublons
Next

```

```

Noeudsacc.Close

```

```

For I = 1 To Ciris
    For K = 1 To Numnd(I)
        For J = 1 To Nbena
            If Nac(I, K) = Nod(J) Then
                Position(I, K) = J
            End If
        Next
    Next
Next

```

*on cherche la position de chaque noeud accrochable aux IRIS pour retrouver les codes d'entrée dans les tableaux de temps généralisés etc*

```

End If
Next
Next

```

Next

*création du fichier de sortie de la matrice origine - destination entre tous les centroïdes d'IRIS accrochés*

```
For I = 1 To Ciris
  For J = I To Ciris
    Tg(I,J) = 999
    Tg(J,I) = 999
  Next
Next
```

Next

```
For I = 1 To Ciris
  Irisacc.Read(15)
  Coordirissd(I) = Irisacc.Readline
Next
```

```
Matriceod.Writeline "DCOMIRIS_O;"&"DCOMIRIS_D;"&"MAP début (heure);"&"MAP fin (heure);"&"temps généralisé (heure);"&"temps attente (heure);"&"pénalité;"&"nombre corresp;"&"num des lignes"
```

```
For I = 1 To Ciris
  For J = 1 To Ciris
    If I=J Then
      Tg(I,J)=0
      Ta(I,J)=0
      Pe(I,J)=0
      Nbcor(I,J)=0
      Numlignes(I,J)= "NIL"
```

Else

```
  For W = 1 To Numnd(I)
    For Y = 1 To Numnd(J)
      Cle = Clenoeudsinitiaux(Position(J,Y))
      Tg1 = Tg(I,J)
      Tg2 = Tpsg(Position(I,W),Pcouts(Position(I,W),Cle))-
2*(Tpsg(Position(I,W),Pcouts(Position(I,W),Cle))<>0)*(Cdbl(Tpsmap(I,W))+Cdbl(Tpsmap(J,Y)))

      If (Tg1>Tg2) And (Tg2>0) Then
        Tg(I,J) = Tg2
        Ta(I,J) = Attente(Position(I,W),Pcouts(Position(I,W),Cle))
        Pe(I,J) = Acces(Position(I,W),Pcouts(Position(I,W),Cle))
        Nbcor(I,J) = Nbecorresp(Position(I,W),Cle)
        Numlignes(I,J) = Lignesbusused(Position(I,W),Cle)
        Aaa = W
```

```

                Bbb = Y
            End If
        Next
    Next
End If

```

```

Matriceod.Writeline Coordirissd(I)&"&Coordirissd(J)&"&-
Tpsmap(I,Aaa)*(Coordirissd(I)<>Coordirissd(J))&"&-
Tpsmap(J,Bbb)*(Coordirissd(I)<>Coordirissd(J))&"&Tg(I,J)&"&Ta(I,J)&"&Pe(I,J)&"&Nbcor(I,J)&"&
&Numlignes(I,J)

```

```

        Next
    Next

```

```

Matriceod.Close
Irisacc.Close
Rapport.Close

```

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**BONNEL P. (2002)**, *Prévision de la demande de transport. Université Lumière Lyon II*, 427p.

**BONNEL P., CAUBEL D., MIGNOT D. (2002)**, *Etude de faisabilité d'un système de transport radicalement différent pour la zone dense lyonnaise (Rapport intermédiaire)*, LET, Lyon 130p.

**CAUBEL D. (2006)**, *Politique de transports et accès à la ville pour tous ? Une méthode d'évaluation appliquée à l'agglomération lyonnaise. Thèse pour le doctorat en sciences économiques, Lyon, Université Lumière Lyon 2*, 444p.

**DE CEA J., FERNANDEZ E. (2000)**, *Transit assignment models, in Handbook of transport modelling, D A Hensher, K J Button (eds.), Pergamon, Elsevier, pp. 497-508.*

**NICOLAS J-P., HOMOCIANU M., MARCHAL F., ROUTHIER J-L., (2006)**, *Rapport intermédiaire n°4 du projet SIMBAD: Architecture du modèle au sein du projet SIMBAD, LET*, 36p.

**PALLOTTINO S., SCUTELLA M., (1998)**, *Shortest path algorithms in transportation models : classical and innovative aspects*, 45p.

**RAUX C., LICHERE V., MASSON S. (1998)**, *Modèle stratégique de l'agglomération lyonnaise (MoStraLyon version 1)*, LET, SEMALY, Lyon 53p.

**RICHARD O. (2003)**, *Recherche d'un plus court chemin avec contraintes sur un réseau dynamique de routes aériennes, Mémoire de DEA, Lyon, LICIT*, 73p.

**SCHULZ F., WAGNER.D, WEIHE K. (2000)**, *Dijkstra's Algorithm On-Line: An Empirical Case Study from Public Railroad Transport, University of Konstanz*, 22p.

**SEMALY (1998)**, *Guide d'utilisation du logiciel TERESE (version 98-3.1)*, 98p.

**THOMAS R. (1991)**, *Traffic assignment techniques, Aveburry Technical, Gower House, Aldershot*, 385p.

*www.insee.fr, site internet de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.*