

Note technique n° 8

Titre de l'étude :	AMO contrôle de la congestion sur le réseau structurant de l'agglomération Aix-Marseille
N° de projet :	C0730
Maître d'ouvrage :	DIRMed
Titre du document :	Note méthodologique sur la création de matrices dynamiques de demande modèle de trafic
Auteur principal :	Alexandre NICOLAS
Revu par :	
N° version :	2.0
Date de rédaction :	17 juin. 19

TABLE DES MATIERES

1	Méthode de Fratar dynamique	3
2	Méthode de répartition dynamique des débits	4
2.1	Parcours des itinéraires et relevé des débits au fil du parcours	4
2.2	Attribution des flux : calcul des débits propres à chaque itinéraire	5
2.3	Déduction des taux de départ par itinéraire à partir des débits propres pour chaque arc	5
3	Résultats	6
4	En pratique	8

La nature dynamique de l'algorithme de simulation macroscopique proposé par Ke Han et al. (2019) et exploité pour la modélisation de l'axe Marseille-Aubagne requiert des matrices dynamiques de demande comme données d'entrée. Ces matrices indiquent, pour chaque intervalle de temps et chaque chemin (aussi appelé « itinéraire » dans la suite, c'est-à-dire une succession d'arcs reliant une origine à une destination, le nombre de voitures qui partent sur la plage considérée. Elles sont donc représentées sous la forme d'une matrice $(D_{i,k})$ telle que :

- Chaque ligne i correspond à un chemin ; il y a donc autant de lignes que d'itinéraires possibles
- Chaque colonne k correspond à un intervalle d'heures de départ (par exemple, 7h00-7h06 si le pas de temps est de 6 minutes)
- Chaque case $D_{i,k}$ contient le nombre de départs sur le chemin i dans l'intervalle temporel k .

La présente note expose, de manière didactique, les deux méthodes mises en œuvre par Explain pour reconstituer de telles matrices dynamiques à partir des données de trafic disponibles, c'est-à-dire :

- Des comptages SIREDO en pleine voie
- Des comptages aux bretelles
- Des temps de parcours FCD sur des tronçons du réseau.

Ces données de trafic, *moyennées sur des jours supposés équivalents* (JOB), sont stockées sous la forme de fichiers CSV portant le nom du poste ou tronçon considéré, avec

- Sur chaque ligne, une plage horaire (en général, un intervalle de 6 minutes)
- Des variables de trafic (moyennées sur le type de jours considéré) sur les colonnes : temps de parcours / vitesse / débit / ...

Un exemple d'un tel fichier est présenté en [figure 1](#).

Figure 1 : Extrait du fichier CSV « A7cf_JOB.csv » répertoriant les données FCD moyennées sur un JOB pour le tronçon « cf » de l'A7.

1	heure	vitesse	temps_de_parcours	std_vitesse	std_temps_de_parcours	nombre_vehicules_flottants
2	00:00:00	116.65	56.76	10.844	5.289	46
3	00:06:00	98.62	66.90	21.546	16.530	6
4	00:12:00	110.39	59.94	14.257	8.216	17
5	00:18:00	112.61	58.66	11.619	6.405	57
6	00:24:00	112.82	58.54	12.975	7.224	75
7	00:30:00	110.43	59.88	17.565	22.260	83
8	00:36:00	112.04	58.98	17.962	21.772	84
9	00:42:00	111.76	59.09	18.416	22.042	91
10	00:48:00	109.77	60.14	18.892	22.009	96
11	00:54:00	111.07	59.40	15.753	10.834	94
12	01:00:00	111.84	58.99	17.318	11.057	82
13	01:06:00	111.71	59.12	17.115	10.916	80

1 Méthode de Fratar dynamique

La méthode de Fratar s'appuie sur les flux émis ou attirés à chaque nœud d'entrée ou de sortie du réseau.

Plus précisément, à partir d'un ensemble prédéfini de points d'injection (*origines*) et point d'extraction du réseau (*destinations*), elle suppose donnés les débits issus de ces différents points, par tranche de 6 minutes. Notons que certains des débits manquants peuvent être déduits des débits connus. Par exemple, si l'on connaît les comptages SIREDO donnent les débits en pleine voie juste avant et juste après une bretelle de sortie, les débits sur cette dernière sont obtenus en soustrayant au débit de pleine voie avant la sortie celui après la sortie. A partir de là, on extrait des taux de départ aux différents points d'origine du réseau et des taux d'arrivée aux différents points de destination pour chaque intervalle de temps (de 6 minutes, par exemple).

Il s'agit ensuite de trouver une distribution dynamique de flux par itinéraire qui permette de reproduire ces taux de départ et d'arrivée, en tenant compte du temps de parcours à l'heure considérée. Pour ce faire, l'heure de départ est décalée arc après arc, de nœud en nœud, en fonction des temps FCD à l'instant où l'arc est parcouru (en interpolant entre les mesures disponibles), jusqu'à la destination.

Comme illustré en [figure 2](#), On procède ensuite itérativement en optimisant alternativement les distributions de débit (i) aux origines et (ii) aux destinations, jusqu'à obtenir une structure de matrice respectant les contraintes de taux de départ aux origines et taux d'arrivée aux destinations.

Cette méthode a l'avantage d'être facile à mettre en œuvre et d'assurer une cohérence quant au volume de trajets injectés dans le réseau, par construction. En revanche, elle requiert une connaissance a priori des courbes de débit de toutes les entrées-sorties et ignore les possibilités d'itinéraires alternatifs.

Figure 2 : Schéma illustrant le principe de la méthode de Fratar pour reconstituer les matrices dynamiques

		A50						...	Débits entrants
		6h00	6h06	6h12	6h18	6h24	
A501	6h00		x11	x12				...	

	6h06			x21	x22			...	
	6h12				x31	x32		...	
	...								
...	...								
Débits sortants									

2 Méthode de répartition dynamique des débits

La seconde méthode proposée

- Construit l'ensemble des itinéraires possibles entre un ensemble prédéfini de points d'origines et un ensemble prédéfini de points d'arrivées
- Suit les débits par arc tout au long de chaque itinéraire et les répartit entre itinéraires pour obtenir les *débits propres* de chaque itinéraire.

2.1 Parcours des itinéraires et relevé des débits au fil du parcours

Plus précisément, la méthode prend en entrée le tableur Excel décrivant le réseau ainsi que les données de trafic susmentionnées (fichiers CSV, cf [figure 1](#)). Pour chacun des itinéraires, on se place, pour toute heure de départ, dans le référentiel d'un véhicule quittant l'origine à cette heure-là et on relève les débits qu'il rencontre au fil de son trajet, en tenant compte des temps de parcours de chaque arc (à l'aide des données FCD). Se posent alors deux questions :

- A quel itinéraire attribuer les flux (débits) relevés pour chaque arc ?
- Comment combiner les flux des arcs constituant un itinéraire pour établir un taux de départ ?

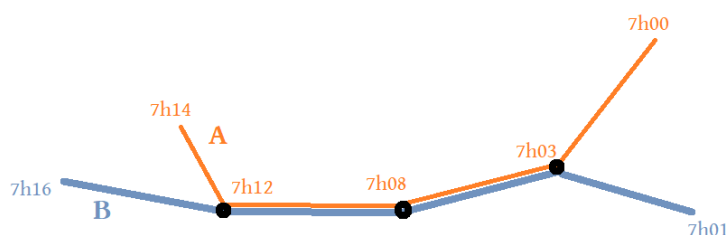
2.2 Attribution des flux : calcul des débits propres à chaque itinéraire

La première question (sur l'attribution du débit observé sur un arc) a une solution évidente si l'arc considéré est emprunté par un et un seul des itinéraires. Le débit rencontré est alors intégralement attribué à cet itinéraire.

La question est en revanche plus délicate si l'arc est partagé entre plusieurs itinéraires i (comme les arcs centraux sur la [figure 3](#)). Il convient alors de répartir le débit relevé à l'instant t entre les différents itinéraires. Cette répartition est effectuée *pro rata* des taux de départ D_{i,t_i} estimés pour chaque itinéraire i à un instant antérieur t_i , cet instant antérieur étant défini de sorte qu'un véhicule parti à t_i sur l'itinéraire i atteint l'arc considéré à l'instant t (d'après les données FCD).

Les estimations de taux de départ sont affinées au fur et à mesure des itérations : on commence avec une approximation grossière, constante sur la période, puis, au fil des itérations, après re-répartition des débits des arcs partagés et réestimation des taux de départ (*cf infra*), cette approximation s'affine, jusqu'à converger.

Figure 3 : Schéma de deux chemins (« itinéraires ») partageant deux arcs.



2.3 Dédution des taux de départ par itinéraire à partir des débits propres pour chaque arc

Concernant la seconde question, une fois déterminés les débits propres aux itinéraires par arc, on part de l'observation que, si le décalage temporel lié au temps de parcours est adéquatement pris en compte, le débit propre associé à un itinéraire mesuré sur un arc ne peut être supérieur au nombre de véhicules ayant décidé d'emprunter cet itinéraire, c'est-à-dire au taux de départ. (*Il peut en revanche lui être inférieur, si l'arc sature*).

Par conséquent, à la fin de chaque itération, on choisit de définir le taux de départ par plage temporelle et par itinéraire comme le **minimum des débits propres** à cet itinéraire sur l'ensemble des arcs qui le composent (*rappelons que ces débits sont mesurés à des instants ultérieurs, pour tenir compte du temps de parcours*).

Si cette idée fait pleinement sens dans un réseau fluide, dans un réseau saturé la présence de goulets d'étranglements implique que le débit sur les arcs limitants est strictement

inférieur à la somme des taux de départ (décalés dans le temps) sur les itinéraires passant par cet arc : les véhicules en excès sont retenus sur les arcs en amont du fait de cette saturation. En fait, en l'absence d'enquêtes, il est difficile de déterminer les itinéraires sur lesquels sont engagés ces véhicules retenus. Ce que l'on sait, en revanche, c'est que les véhicules partis de l'origine contribuent bien aux débits sur les arcs *en amont* du premier point de saturation (goulet) sur l'itinéraire.

Compte tenu de ces éléments, nous appliquons la méthode précédente avant l'apparition de congestion sur le réseau. Une fois apparue la congestion, nous estimons les flux par itinéraire à partir des débits constatés sur les premiers arcs (i.e., ceux qui précèdent les points de saturation). Comme ces premiers arcs sont en général partagés par plusieurs itinéraires (ils permettent d'atteindre différentes destinations), une hypothèse supplémentaire est nécessaire pour lever l'indétermination : nous supposons que le poids *relatif* des itinéraires partageant ces mêmes premiers arcs non congestionnés est demeuré constant depuis l'apparition de la congestion, et est donc identique à celui estimé juste avant son émergence. Autrement dit, en situation de congestion, les poids des itinéraires sont redressés (par rapport à la situation fluide) à l'aide des flux relevés sur leurs premiers arcs non congestionnés.

Cette méthode a l'avantage

- d'intégrer la possibilité d'itinéraires concurrents entre une même origine et une même destination (ces deux itinéraires n'emprunteront pas les mêmes arcs et ne rencontreront donc pas les mêmes débits)
- de ne pas nécessiter absolument la connaissance de débits à toutes les entrées / sorties du réseau.

En revanche, comme les taux de départ par itinéraire sont définis comme des minima de débits sur leurs arcs constituants, la somme des taux de départ sur l'ensemble des itinéraires a tendance à être quelque peu inférieure à la somme des débits injectés dans le réseau (i.e., les débits d'entrée utilisés dans la méthode de Fratar). En d'autres termes, la reproduction précise du volume global de déplacements n'est pas garantie par la méthode ; elle appelle à la vigilance du modélisateur. Pour pallier cette imprécision, l'ensemble des flux est redressé par un coefficient constant pour aboutir au volume global de déplacements attendus (celui utilisé dans la méthode de Fratar).

3 Résultats

L'application de ces méthodes sur l'axe A50/A501 entre Aubagne et Marseille en période de pointe du matin a souligné l'importance d'une description dynamique du trafic ; le volume total de déplacements évolue fortement au cours de la période ([figure 4](#)) et la structure de

la matrice est également modifiée : l'évolution des flux sur une OD particulière (figure 5) ne suit pas la même courbe que l'évolution globale des déplacements.

Figure 4 : Flux obtenus sur l'axe A50/A501 entre Aubagne et Marseille avec la méthode de Fratar

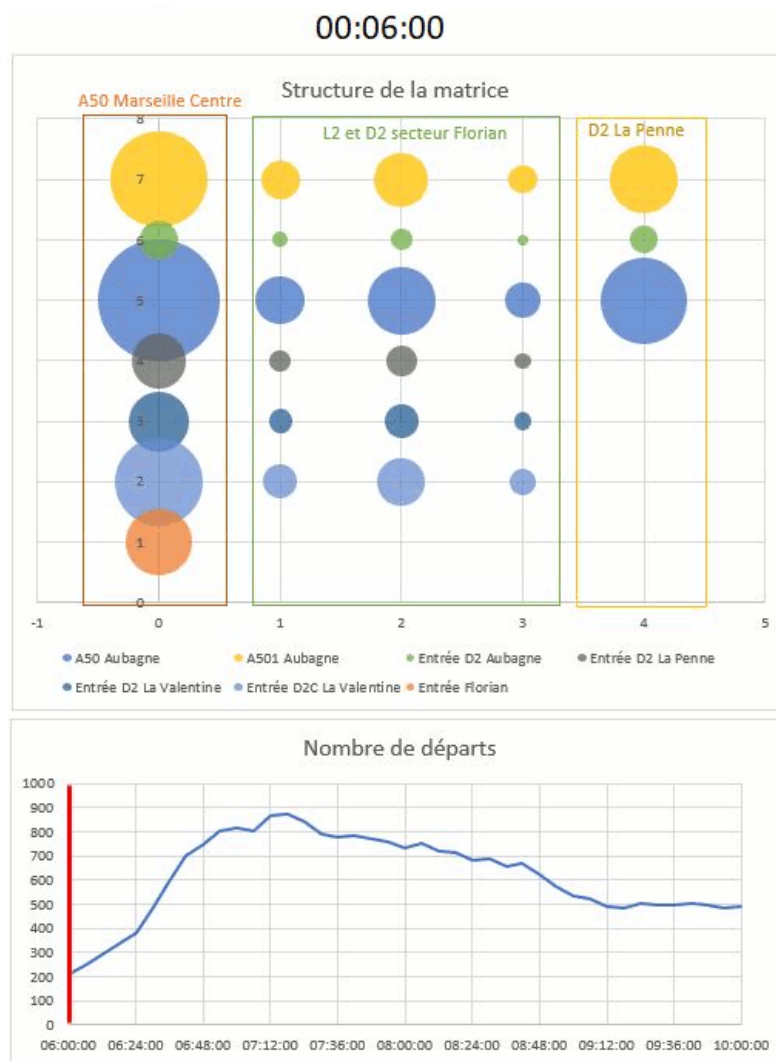
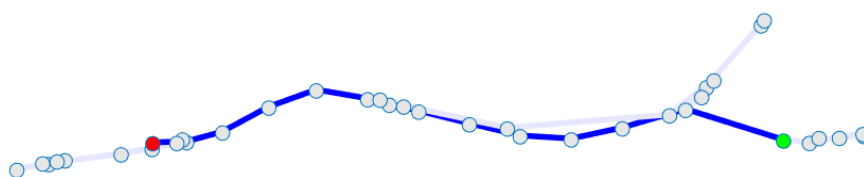
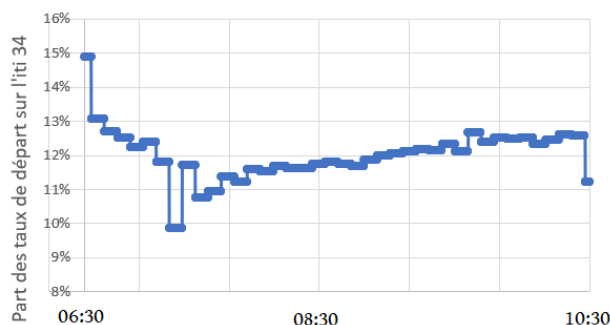


Figure 5 : Evolution temporelle des flux sur l'itinéraire représenté en haut de la figure, déduite de la méthode de répartition des débits.





4 En pratique

Pour finir, nous donnons quelques indications pratiques pour l'utilisation de chacune des méthodes :

- **Méthode de Fratar** : la feuille de calcul Excel "*CalculMatriceDynamique_Fratar.xlsx*" contient plusieurs onglets qu'il convient d'adapter :
 - « TPS JOB » : l'ensemble des données FCD de temps de parcours pour les tronçons du réseau étudié
 - « OD » : l'ensemble des itinéraires considérés, entrés *manuellement* (un par ligne), avec pour chacun la succession de tronçons FCD qui le composent.
 - « BASE TEMPS OD » : les heures d'arrivée par itinéraire pour chaque heure de départ, déduites des temps de parcours par tronçon. Les taux de départ à estimer pour cet itinéraire et heure de départ peuvent ainsi être attribués aux débits aux différentes entrées / sorties du réseau.
- **Méthode de répartition des débits** : le script Python "*calage_dynamique.py*" contient à la fois le module de création des itinéraires et le module de création des matrices dynamiques. Pour l'utiliser, il faut l'ouvrir dans un éditeur de texte et
 - modifier les noms des dossiers/fichiers : *DossierReseau* est le dossier contenant le fichier Excel avec description du réseau, *DossierSIREDO* est le dossier contenant les fichiers CSV des comptages SIREDO de pleine voie, *DossierBretelles* est le dossier contenant les fichiers CSV des comptages aux bretelles et *DossierFCD* est le dossier contenant le fichier CSV avec les temps de parcours FCD (exemple en [figure 1](#))
 - modifier les identifiants des nœuds-origines et nœuds-destination du réseau (lignes 16 et 17)
 - de manière facultative, étiqueter les identifiants de nœuds avec des noms
 - si les données de comptages ne sont pas homogènes dans le temps, introduire les coefficients de redressement appropriés à la ligne 25
 - exécuter le code en tapant dans un terminal la commande `$ python calage_dynamique.py`

Le fichier texte (par exemple, "*codage_MATLAB.txt*") généré par le script contient :

- la liste des arcs *linkData*, à copier-coller dans le fichier MATLAB "*save_Marseille_net.m*"

- la liste des nœuds *nodeCoordinates*, à copier-coller dans le fichier MATLAB "save_Marseille_net.m"
- la liste des chemins *pathList*, à copier-coller dans le fichier MATLAB "save_Marseille_paths.m"
- les matrices de taux de départ associés *pathDepartures*, à copier-coller dans "save_Marseille_dep.m" (pour les taux de départ).