



MÉTHODES D'ANALYSE DES SYSTÈMES TERRITORIAUX 2013 – 2014

SUPPORT DE FORMATION
Ecole des Ponts ParisTech

TransCAD
Transportation GIS Software



SÉANCE 8 DISTRIBUTION & CHOIX MODAL

Nicolas COULOMBEL
Natalia KOTELNIKOVA-WEILER
Vincent LASSERRE
Fabien LEURENT
Alexis POULHES

UMR LVMT - Ecole des Ponts ParisTech
6-8 avenue Blaise Pascal - Cité Descartes - Champs-sur-Marne
77455 Marne-la-Vallée CEDEX 2

PLAN

1. Préambule : calcul des utilités de déplacement	3
1.1. Utilité liée à un déplacement.....	3
1.1.1. Modes de transport considérés	3
1.1.2. Utilités modales	3
1.1.3. Utilité multimodale.....	5
1.2. Calcul des utilités sous TransCAD	5
1.2.1. Calculer un distancier	5
1.2.2. Ajouter des matrices à une méta-matrice.....	6
1.2.3. Calcul des utilités modales	7
2. La distribution spatiale de la demande de transport	10
2.1. Application d'une méthode gravitaire pour la distribution	10
2.1.1. Lancer une procédure de distribution	11
2.1.2. Afficher et vérifier les marges	12
2.2. Analyse des résultats	13
2.2.1. Lignes de désir.....	13
2.2.2. Distribution des distances	15
3. Le choix du mode de déplacement	16
3.1. Application du modèle de choix modal de MODUS	16
3.2. Représentation des parts modales	17
3.2.1. A partir d'une zone d'origine fixée	17
3.2.2. A partir de l'ensemble des zones d'origine	20
Récapitulatif des principales fonctions découvertes	21
ANNEXE - Estimation et application d'un modèle de choix modal personnalisé	22
Mise en place des données.....	22
Création de la table du modèle	23
Calcul des paramètres du modèle	25
Application du modèle de choix modal	26

1. Préambule : calcul des utilités de déplacement

1.1. Utilité liée à un déplacement

Afin de décrire la demande de déplacements, MODUS v2.2 modélise les processus de choix des individus qui amène aux pratiques de mobilité observées. Le modèle s'appuie sur le concept d'« **utilité** », utilisé dans le cadre de la théorie des choix discrets. L'utilité représente l'intérêt que retire un individu d'effectuer un choix parmi d'autres ; elle dépend a priori de ses caractéristiques propres et de celles du choix ; l'arbitrage qu'il effectue s'interprète comme une comparaison des utilités des différentes options.¹

MODUS v2.2 attache une utilité à chacun des déplacements potentiels. Le choix a été fait de ne les faire dépendre que des caractéristiques des déplacements, qui sont principalement :

- le mode ;
- la distance ;
- le temps de déplacement ;
- le coût du déplacement.

Cette **utilité élémentaire** est « **modale** » dans les sens où elle dépend du mode de déplacement. La connaissance des trois utilités modales correspondant à un même couple Origine – Destination (O-D) permet de déterminer l'**utilité « multimodale »** par *logsum* de l'O-D en question (*cf. infra*).

1.1.1. Modes de transport considérés

Dans sa version 2.2, le modèle MODUS considère 3 modes de transport :

- Véhicules Particuliers (VP) : conducteurs et passagers des véhicules particuliers et utilitaires ;
- Transports en Commun (TC) : Transilien, RER, métro, bus, transports scolaires et employeurs ;
- Modes Doux (MD) : marche, roller, vélo.

Cette description ne prend en compte ni les taxis, ni les deux roues motorisés (de même que les poids lourds, considérés à part dans la matrice O-D).

1.1.2. Utilités modales

Le calcul des utilités constitue l'étape préliminaire à la mise en œuvre effective de la chaîne de modélisation. Le cadre théorique dans lequel se place MODUS v2.2 est celle des utilités aléatoires et des choix discrets, concrétisés par un modèle Logit multinomial.

¹ A la différence du coût généralisé qui n'en est qu'une forme particulière, l'**utilité n'a pas de « grandeur »** ; en particulier, ce n'est pas une valeur monétaire. Ce n'est qu'un outil d'arbitrage abstrait.

Dans ce cadre, MODUS v2.2 fait l'hypothèse que la partie déterministe des utilités modales est une combinaison linéaire de variables décrivant les caractéristiques des modes sur l'O-D considérée. Les variables sont :

- INT_{TC} et INT_{VP} : les indicatrices (dummies) des modes TC et VP;
- T_R : temps de parcours TC hors véhicule (*en minutes*);
- T_{TC} : temps de parcours TC en véhicule (*en minutes*);
- T_{VP} : temps de parcours VP (*en minutes*);
- T_{VPS} : temps de parcours VP à l'Heure de Pointe du Soir (HPS) (*en minutes*);
- T_{MD} : temps de parcours en MD (*en minutes*);
- CT_{TC} et CT_{VP} : coût d'utilisation des TC ou des VP pour un déplacement (*en €*).

Les utilités modales U^{VP} , U^{TC} , et U^{MD} s'expriment donc sous la forme suivante :

$$U^{mode} = \alpha INT_{TC} + \beta INT_{VP} + \gamma T_R + \delta T_{TC} + \varepsilon T_{VP} + \epsilon T_{VPS} + \zeta T_{MD} + \eta CT_{TC} + \theta CT_{VP}$$

les variables INT_{TC}, \dots, CT_{VP} prenant des valeurs différentes selon le mode et l'O-D considérés. Voici un tableau récapitulatif de leurs valeurs pour les trois modes:

	Transports en Commun	Véhicules Particuliers	Modes Doux
INT_{TC}	1	0	0
INT_{VP}	0	1	0
T_R	Trab+Tacc+Tmar+Tatt	0	0
T_{TC}	Tveh	0	0
T_{VP}	0	Motifs 3 à 6: Max(TVPM,TVPS) Motifs 1 et 2 : TVPS	0
T_{VPS}	0		0
T_{MD}	0	0	1,3*DVOL / VMD
CT_{TC}	CarteOrange	0	0
CT_{VP}	0	1,3*DVOL*0,1	0

DVOL est la distance à vol d'oiseau entre la zone d'origine et la zone de destination et VMD la vitesse des modes doux, prise égale à 2,5 km/h.

 : le résultat T_{MD} devra être converti en minutes.

Remarque : les utilités sont des grandeurs sans dimension et calibrées pour reproduire les choix des usagers ; les unités utilisées n'ont donc aucune importance en tant que telles, et seules comptent la cohérence et la compatibilité internes des données, et les choix de « sens » qui sont faits.

Les paramètres des utilités modales respectent la segmentation de la demande présentée précédemment (cf. séance Génération): ils sont regroupés en 12 jeux correspondant chacun à une catégorie d'usagers et à un motif de déplacement. Les tableaux suivants présentent leurs valeurs pour les 2 motifs qui nous intéressent (pour rappel, motif 1 = Domicile – Travail, motif 2 = Travail – Domicile):

Captifs

MOTIF	INT_{TC}	INT_{VP}	T_R	T_{TC}	T_{VP}	T_{VPS}	T_{MD}	CT_{TC}	CT_{VP}
1	-1.3128	-4.3911	-0.056	-0.0078	0	-0.0517	-0.0538	-0.2776	0
2	-1.517	-3.9196	-0.0464	-0.0138	0	-0.0562	-0.052	-0.2174	0

Non Captifs

MOTIF	INT_{TC}	INT_{VP}	T_R	T_{TC}	T_{VP}	T_{VPS}	T_{MD}	CT_{TC}	CT_{VP}
1	-1.1605	-0.8025	-0.0608	-0.0445	0	-0.0598	-0.048	0	-0.5229
2	-1.3884	-0.5948	-0.0532	-0.0508	0	-0.0729	-0.0473	0	-0.3617

1.1.3. Utilité multimodale

En accord avec les résultats théoriques sur le modèle Logit, l'utilité multimodale U^{TM} est déterminée comme le « logsum » des 3 utilités modales U^{VP} , U^{TC} , et U^{MD} calculées précédemment. Celle-ci est donc donnée par la formule :

$$U^{TM} = \ln(e^{U^{TC}} + e^{U^{VP}} + e^{U^{MD}})$$

1.2. Calcul des utilités sous TransCAD

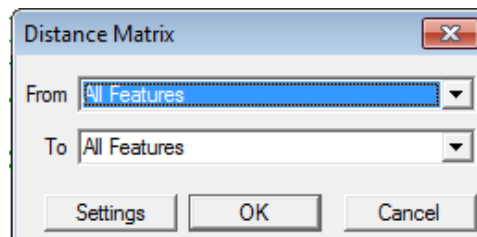
Ouvrez la couche du zonage « Zonage_P+E_2005.dbd ». La première étape va consister à calculer un distancier qui nous fournira les distances à vol d'oiseau entre toutes les zones, nécessaires au calcul des variables T_{MD} et CT_{VP} .

1.2.1. Calculer un distancier

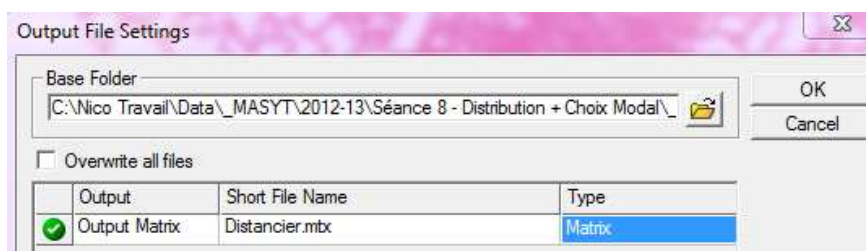
👉 : avant de continuer, vérifiez que TransCAD est bien configuré en kilomètres !

La matrice d'impédance ressemble à une matrice O-D. Cependant, au lieu d'indiquer des flux de personnes (ou de véhicules), une matrice d'impédance fournit la distance ou le temps de parcours nécessaire pour se rendre d'une zone à une autre. Nous allons dans notre cas utiliser la distance à vol d'oiseau entre les zones MODUS.

Calculez le distancier à l'aide de « **Tools – Geographic Analysis – Distance Matrix** » :



Appelez cette matrice « Distancier » :




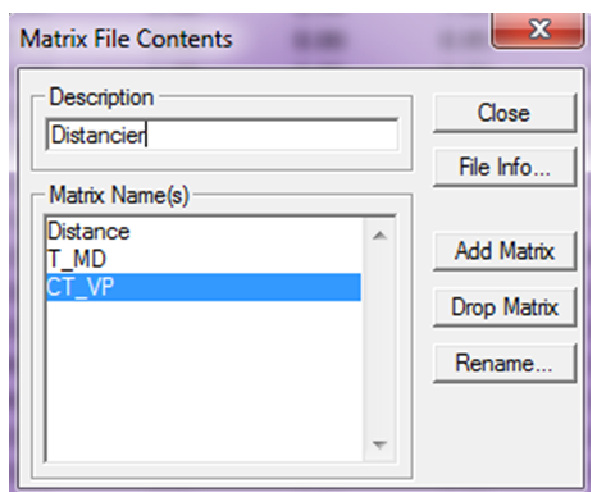
La matrice obtenue fournit la distance (en km) séparant les barycentres de chaque zone :

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00	0.48	0.95	1.25	1.94	1.79	1.98	1.42
2	0.48	0.00	0.62	0.78	1.58	1.55	1.86	1.50
3	0.95	0.62	0.00	0.79	1.84	1.99	2.38	2.11
4	1.25	0.78	0.79	0.00	1.06	1.33	1.81	1.82
5	1.94	1.58	1.84	1.06	0.00	0.61	1.13	1.64
6	1.79	1.55	1.99	1.33	0.61	0.00	0.54	1.09
7	1.98	1.86	2.38	1.81	1.13	0.54	0.00	0.85
8	1.42	1.50	2.11	1.82	1.64	1.09	0.85	0.00

1.2.2. Ajouter des matrices à une méta-matrice

Dans TransCAD, une matrice peut regrouper plusieurs matrices (ou « champs ») de même dimension. Bien que TransCAD ne fasse pas cette distinction, nous parlerons parfois de « méta-matrice » pour désigner la matrice globale contenant les diverses matrices (ou « champs »). Nous allons ainsi ajouter 2 nouvelles matrices à la méta-matrice actuelle.

Lancez la commande « **Matrix – Contents** » (ou raccourci ). Ajoutez 2 nouvelles matrices que vous nommerez « T_MD » et « CT_VP », et renommez la première matrice « Distance ».



Description : s’affiche en haut de la matrice, sinon pas d’importance particulière.

Add Matrix : ajouter une matrice

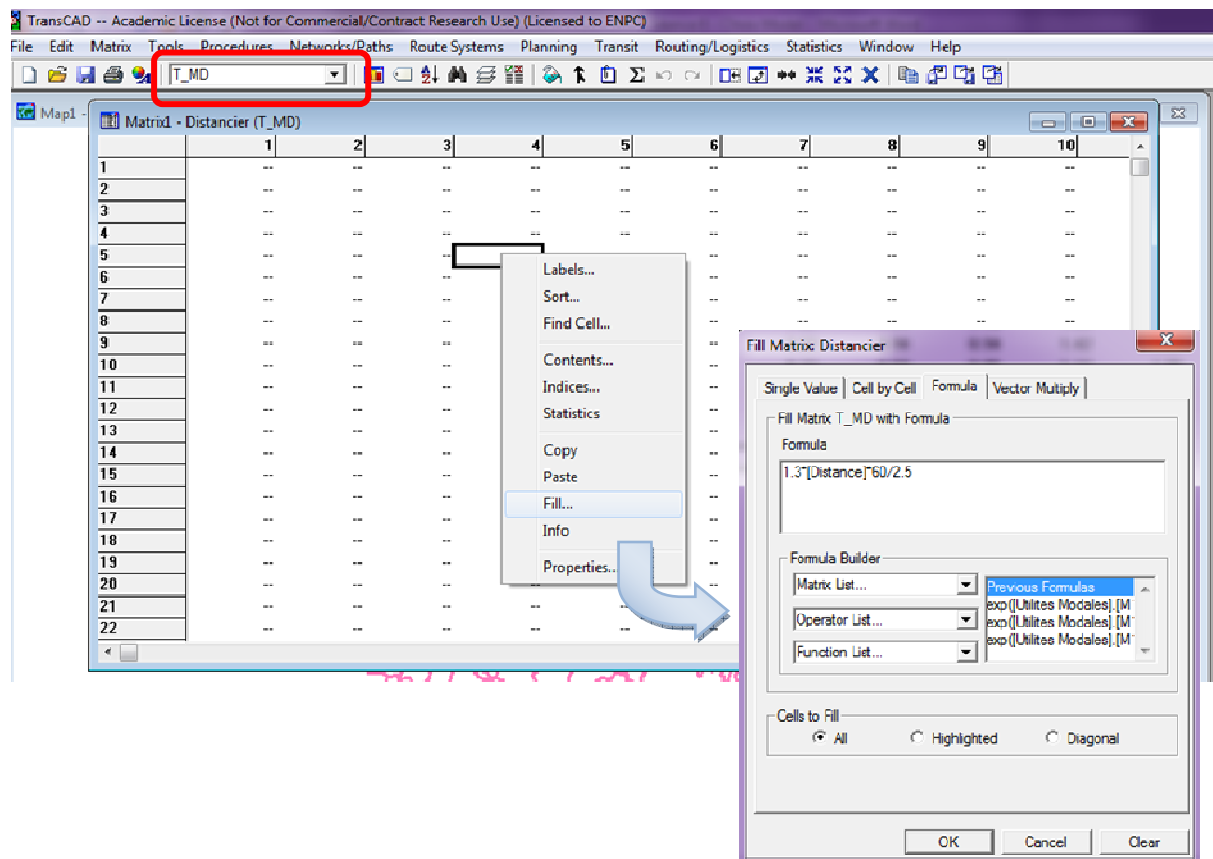
Drop Matrix : supprimer une matrice

NB : la première matrice ne peut pas être supprimée

Rename : renommer une matrice

Fermez avec « **Close** » pour valider.

Sélectionnez la matrice *T_MD* à l’aide du menu déroulant, puis lancez la commande « **Fill...** » à l’aide d’un click-droit sur la matrice active. Remplissez enfin la matrice à l’aide de l’onglet « **Formula** » et de la formule indiquée ci-dessous, et validez le tout avec « **OK** ».



Faites de même pour calculer la matrice « CT_VP » à l'aide de la formule fournie en 1.1.2.

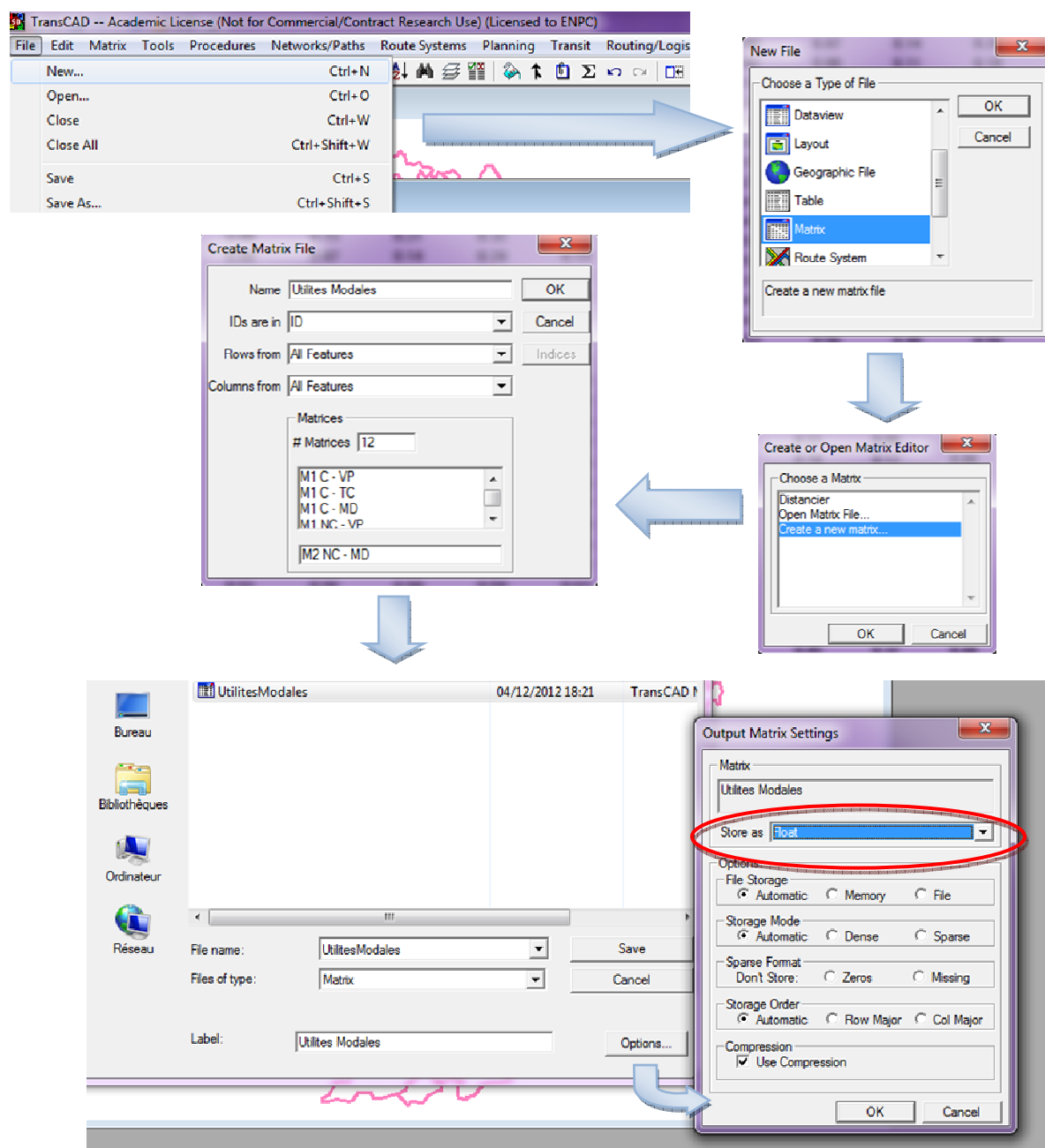
1.2.3. Calcul des utilités modales

Nous allons commencer par créer une nouvelle « méta-matrice » qui contiendra les utilités modales pour les 2 motifs et les 2 segments (Captifs/Non Captifs) considérés, soit un total de $2 \times 2 \times 3 = 12$ matrices.

Lancez la commande « **File – New** » puis procédez comme ci-après pour créer une telle méta-matrice. Les 12 matrices de la méta-matrice auront pour nom :

- M1 C – VP
- M1 C – TC
- M1 C – MD
- M1 NC – VP
- M1 NC – TC
- M1 NC – MD
- M2 C – VP
- M2 C – TC
- M2 C – MD
- M2 NC – VP
- M2 NC – TC
- M2 NC – MD

: attention à bien spécifier le type Flottant dans les options.



Ouvrez les 2 méta-matrices « Impedance TC (actuel).mtx » et « Impedance VP HPS (actuel).mtx ». Celles-ci fournissent les temps de parcours en VP et en TC nécessaires au calcul des utilités modales.

Comme précédemment, remplissez avec « **Fill** » les utilités pour l'ensemble des 12 matrices à l'aide des formules fournies dans le tableau Excel « Formules Utilites.xls ».

Remarque : ces formules correspondent aux formules fournies en 1.1.2, en prenant comme coût pour les TC 1€ par déplacement quelle que soit l'O-D.

Créez une nouvelle méta-matrice nommée « UtilitesMultimodales.mtx » contenant 4 matrices donnant les utilités multimodales nommées:

- M1 C – Utilite
- M1 NC – Utilite
- M2 C – Utilite
- M2 NC – Utilite

 : encore une fois, attention à bien spécifier le type Flottant dans les options.

Remplissez ces matrices en utilisant la formule modifiée : ²

$$U^{TM} = \ln \left(\frac{e^{U^{VP}} + e^{U^{TC}} + e^{U^{MD}}}{3} \right)$$

Remarque : la fonction \ln s'écrit \log sous TransCAD.

² Par rapport à la formule originale, la somme des utilités est divisée par 3 pour s'assurer que U^{TM} soit toujours de signe négatif. Cela servira lors de la phase de distribution, pour laquelle TransCAD ne sait pas gérer des impédances de signe variable.

2. La distribution spatiale de la demande de transport

DEFINITION

Dans un modèle classique de transport à 4 étapes, l'étape de distribution intervient juste après la phase de génération et est ainsi la 2^{nde} des 4 étapes.

Elle consiste à prendre les volumes de déplacements émis et reçus par chaque zone issus de l'étape de génération, et à les répartir entre les différentes Origine-Destination (O-D) possibles.

Techniquement, la distribution spatiale est traitée communément par un modèle gravitaire :

- Par segment, chaque relation O-D est caractérisée par un coût de transport G_{od} .
- Par segment et par motif, le volume O-D dépend des volumes émis par la zone d'origine o et reçu par la zone de destination d suivant une relation de forme

$$x_{odj} \propto E_{oj} R_{dj} f_j(G_{od})$$

avec f_j une fonction décroissante appelée fonction d'impédance.

- La spécification du modèle consiste à formuler f_j , à en estimer les paramètres d'après des observations, et à équilibrer les bilans des émissions et des réceptions (en calibrant divers facteurs de proportionnalité qui interviennent dans la formule du volume O-D mais n'y ont pas été notés, par simplification).

Vous aller réaliser l'étape de distribution pour chacun des segments de la demande estimée lors de la phase de génération (motifs 1 et 2, individus captifs et non captifs).

Pour cela, vous aller utiliser une méthode gravitaire qui se base sur une fonction f_j exponentielle qui dépend des utilités que vous venez de calculer.

2.1. Application d'une méthode gravitaire pour la distribution

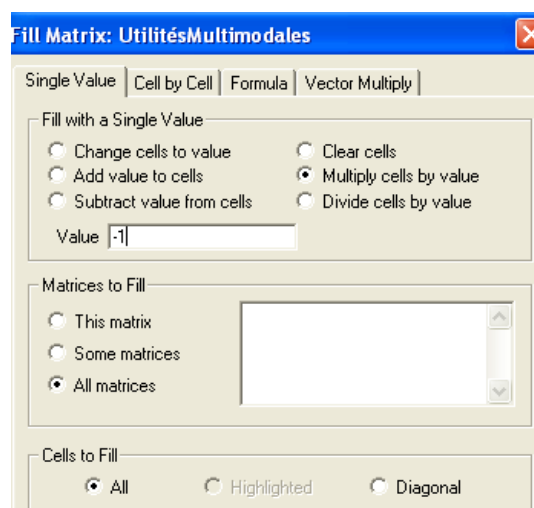
Deux éléments sont nécessaires pour effectuer une procédure de distribution :

- une table contenant les émissions et les réceptions pour chaque zone ;
- une matrice d'impédance fournissant une mesure de coût/éloignement entre les différentes zones.

Concernant le premier élément, ouvrez la table « ER_2005.bin » obtenue lors de la séance sur la génération.

Concernant la matrice d'impédance, nous nous servons de la matrice des utilités multimodales, dont nous prendrons l'opposé pour qu'elle corresponde à une désutilité c'est-à-dire à un coût entre zones.

Par conséquent, n'oubliez pas de changer le signe de la matrice que vous venez de calculer, à l'aide de la commande « **Fill Matrix** ».



2.1.1. Lancer une procédure de distribution

Lancez la procédure de distribution grâce à la commande « **Planning – Trip Distribution – Gravity Application** ».

Gravity Application

Production-Attraction Data
 Table: ER_2005 Records: All Features

Friction Factor Settings
 FF Table: None Impedance Matrix: UtilitésMultimodales
 FF Time: None FF Matrix: None
 Constraint: Doubly K Matrix: None

General

Purpose	Production	Attraction	Method	Iteratio	Convergenc
1 C	E_1_C	R_1_C	Exponential	100	0.001
1 NC	E_1_NC	R_1_NC	Exponential	100	0.001
2 C	E_2_C	R_2_C	Exponential	100	0.001
2 NC	E_2_NC	R_2_NC	Exponential	100	0.001


Friction Factor

Purpose	F Factor	Imp Core	a	b	c	FF Core	K Core
1 C	n/a	M1 C - Utilité	n/a	n/a	1.87	n/a	None
1 NC	n/a	M1 NC - Utilité	n/a	n/a	1.109	n/a	None
2 C	n/a	M2 C - Utilité	n/a	n/a	1.748	n/a	None
2 NC	n/a	M2 NC - Utilité	n/a	n/a	1.058	n/a	None

Settings OK Cancel

Commencez par indiquer la table utilisée : dans notre cas il s'agit de la table « ER_2005 ».

Nous n'effectuerons aucun changement dans le menu « **Friction Factor Settings** ». Notez néanmoins que la méthode utilisée pour effectuer la distribution est celle de la maximisation de l'entropie sous double contrainte (sur les émissions et les réceptions).

Nous devons ensuite définir les différents motifs utilisés, avec les champs émission (« **Production** ») et attraction (« **Attraction** ») correspondants. Créez quatre nouveaux motifs à l'aide de la commande , nommez les 1 C, 1 NC, 2 C, et 2 NC (ceux déjà utilisés pendant la génération et le calcul des utilités) et renseignez les champs « **Production** » et « **Attraction** » par les champs convenant (cf. ci-dessus).

Pour chaque motif, indiquez la fonction d'impédance (« **Method** »), le nombre d'itérations (« **Iterations** ») et le critère de convergence (« **Convergence** ») voulus. Nous choisirons respectivement une fonction exponentielle, 100 itérations, et un critère d'arrêt de 0.001.

Le menu « **Friction Factors** » sert à spécifier la fonction d'impédance. Nous utilisons ici une fonction exponentielle de la forme $f(G_{od}) = e^{-c \cdot G_{od}}$ avec le paramètre c défini par la DRIEA

dans MODUS v2.2. Ce paramètre dépend du motif et de la catégorie d'utilisateurs, les comme indiqué dans le tableau suivant :

Paramètres de distribution pour MODUS v2.2

Motif	Captifs	Non Captifs
	c	c
1	1.870	1.109
2	1.748	1.058

Source : DRIEA

Le champ d'impédance *Imp Core* à choisir est l'utilité multimodale pour chaque motif (dont nous avons changé le signe pour obtenir une désutilité).

Validez le tout avec « **OK** » et enregistrez votre matrice sous le nom « Dist grav actuel.mtx ». A la fin du calcul, une fenêtre récapitule pour chaque motif le nombre d'itérations réalisées afin de parvenir (ou non) à la convergence.

La méta-matrice résultat contient une matrice O-D par motif de déplacement. Vous pouvez choisir le motif à afficher à l'aide du menu déroulant situé dans la barre d'outils.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.04	3.50	1.41	1.14	0.82	0.37	0.92	0.21
2	39.95	456.61	144.11	107.77	59.75	24.38	59.66	12.55
3	7.05	62.23	76.16	33.04	16.88	4.97	12.47	2.44
4	21.50	179.08	122.47	319.49	114.87	30.24	55.87	11.28
5	38.31	239.04	140.56	243.68	798.98	127.38	195.24	30.73
6	18.95	105.13	49.64	74.26	139.05	116.16	155.82	18.64
7	14.68	79.60	37.97	47.57	74.04	49.16	223.72	17.78
8	5.73	28.88	12.48	16.21	18.34	10.08	30.80	18.05
9	22.77	107.66	51.09	63.90	68.18	34.27	118.04	40.66
10	18.69	95.87	46.51	54.53	68.41	38.52	141.34	28.10
11	11.16	50.01	23.72	25.77	23.09	10.45	30.26	10.40

Remarque : les diagonales des différentes matrices O-D obtenues, qui pour rappel correspondent aux flux intra-zonaux, sont non vides. Ceci n'est pas toujours le cas, certains modèles négligeant les mouvements à l'intérieur d'une zone.

2.1.2. Afficher et vérifier les marges

Sur la fenêtre active de la matrice, vous pouvez afficher les sommes à la marge avec un clic droit et en choisissant « **Properties...** ». Cliquez sur « **Sum** » puis validez. Ceci nous permet de vérifier que les contraintes aux marges sont respectées.

Matrix Properties

Marginals
☐ None ☒ Sum ☐ Mean
☐ Minimum ☐ Maximum ☐ Count

Font
 MS Dialog MS Dialog Light MS Gothic MS Mincho MS PGothic MS PMincho MS Sans Serif MS Serif
 Size 8 ☒ Bold ☐ Italic

Options
 Display ☐ Sci

Matrix Values

On vérifie bien que les marges correspondent au total des flux émis et recus (pour la zone 1 ici).

Matrix6 - Gravity Matrix (1 NC)

	1	2	3	4	5	6	7	Sum
1	1.04	3.50	1.41	1.14	0.82	0.37	0.92	55.77
2	39.95	456.61	144.11	107.77	59.75	24.38	59.66	4787.33
3	7.05	62.23	76.16	33.04	16.88	4.97	12.47	1127.80
4	21.50	179.08	122.47	319.49	114.87	30.24	55.87	4013.64
5	38.31	239.04	140.56	243.68	798.98	127.38	195.24	8468.68
6	18.95	105.13	49.64	74.26	139.05	116.16	155.82	3540.77
7	14.68	79.60	37.97	47.57	74.04	49.16	223.72	3062.71
8	5.73	28.88	12.48	16.21	18.34	10.08	30.80	1122.62
9	22.77	107.66	51.09	63.90	68.18	34.27	118.04	6362.46
Sum	4517.16	28300.40	16278.01	16122.05	15642.40	6012.85	16050.69	3437637.98

Dataview4 - ER_2005

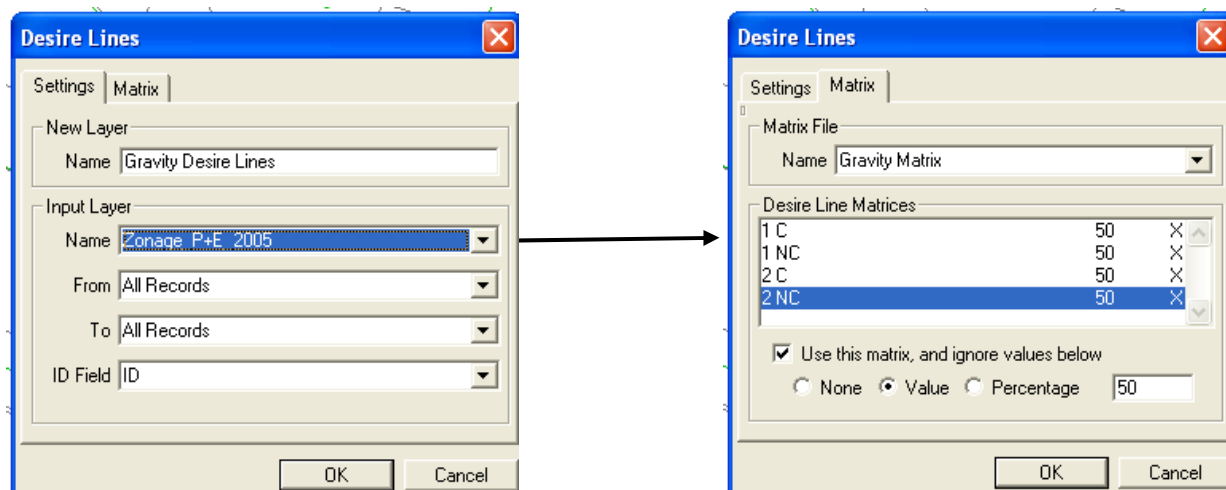
ID	E_1_C	R_1_C	E_1_NC	R_1_NC	E_2_C	R_2_C	E_2_NC	R_2_NC
1	55.11	2897.82	55.77	4517.19	2379.73	46.00	4249.05	52.74
2	4137.38	18155.10	4187.33	28300.38	14934.74	3453.45	26666.21	3959.70
3	1114.35	10442.58	1127.80	16278.12	8586.09	930.14	15330.59	1066.49
4	3965.76	10342.53	4013.64	16122.17	8507.77	3310.20	15190.75	3795.45
5	8367.66	10034.82	8468.68	15642.50	8249.35	6984.44	14729.35	8008.31
6	3498.53	3857.33	3540.77	6012.89	3172.00	2920.21	5663.66	3348.28
7	3026.18	10296.74	3062.71	16050.79	8466.58	2525.94	15117.21	2896.22

2.2 Analyse des résultats

Cette section propose 2 exemples d'analyse à partir des résultats de l'étape de distribution.

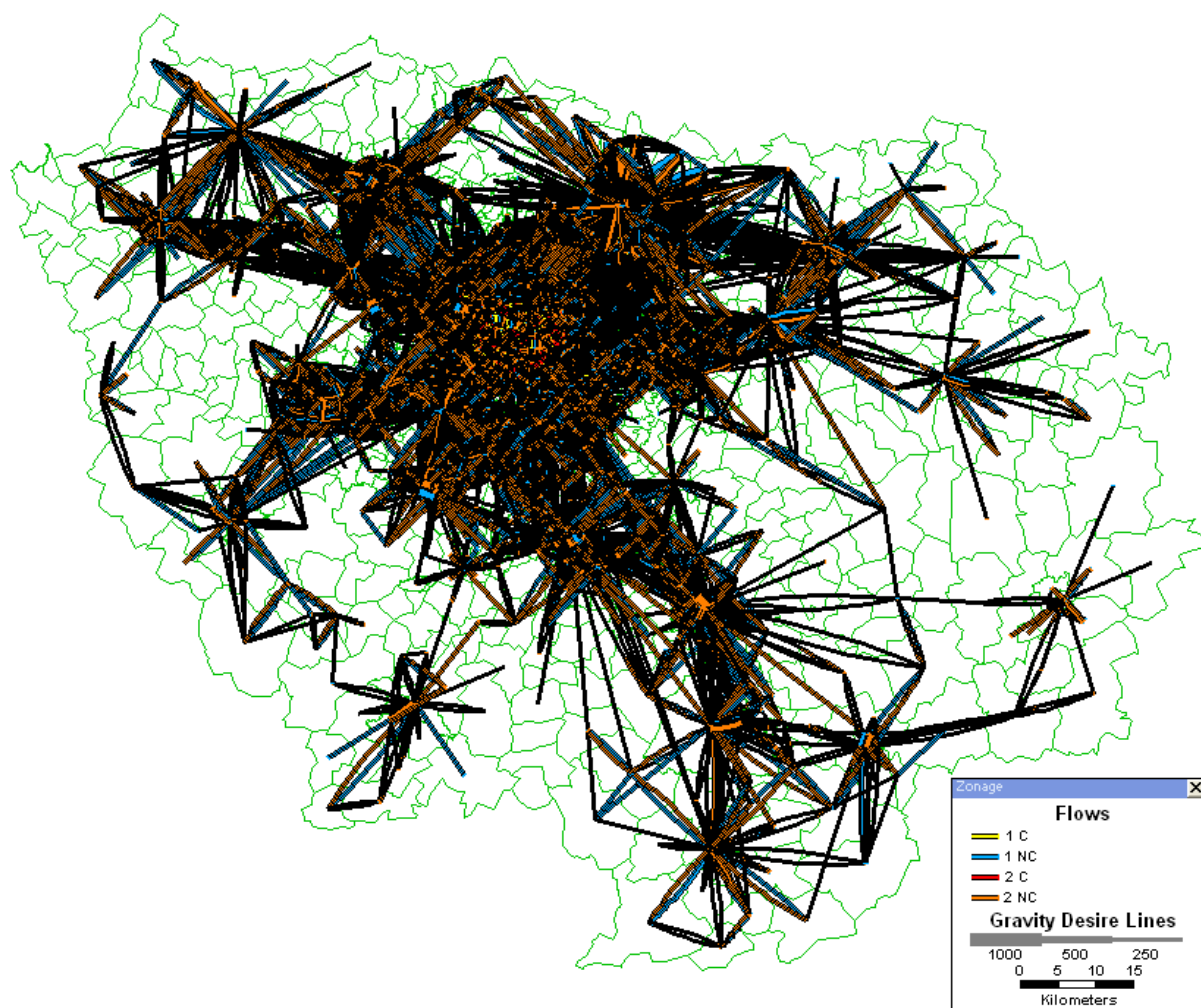
2.2.1 Lignes de désir

Réalisez la cartographie des lignes de désirs (s'obtenant pour rappel avec la commande « Tools – Geographic Analysis – Desire Lines » en ayant activé la couche du zonage).



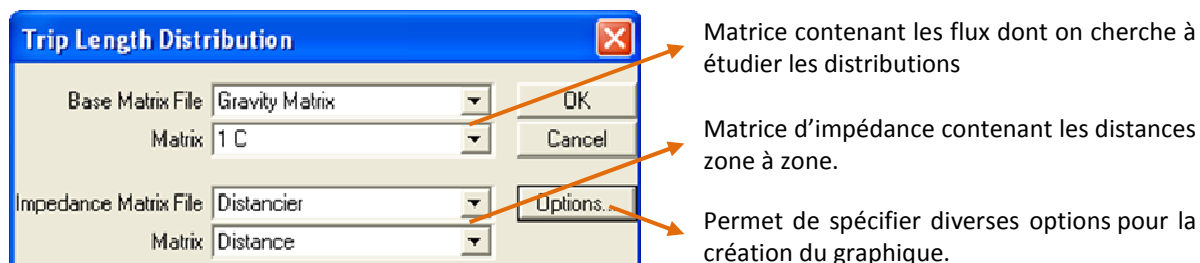
Pour une meilleure lisibilité, seuls seront représentés les flux > à 50 déplacements.
 Dans l'onglet « **Matrix** », cochez pour chaque motif la case « **Use this matrix, and ignore value below** » 50.

LIGNES DE DESIRS POUR LES QUATRE MOTIFS ANALYSES



2.2.2 Distribution des distances

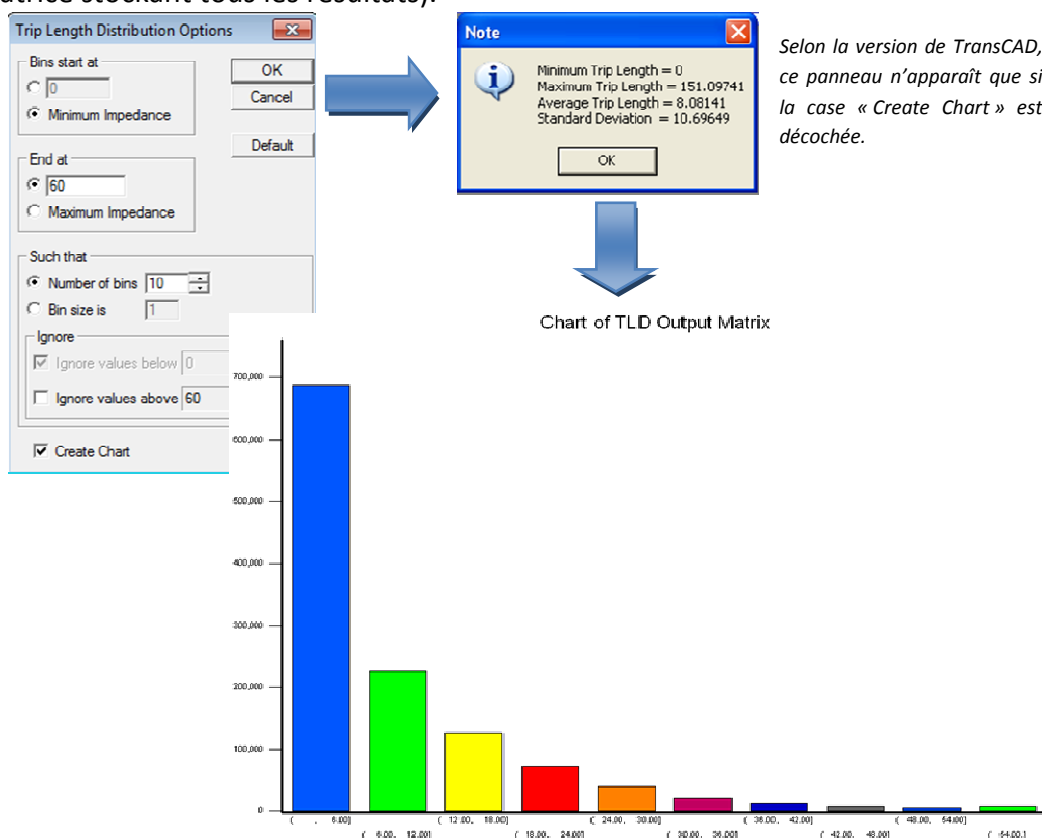
Une autre manière d'analyser les résultats consiste à étudier la distribution des distances parcourues. TransCAD dispose à cet effet de la commande « **Planning – Trip Distribution – Trip Length Distribution** » (une matrice doit être activée pour pouvoir accéder à cette commande) :



Remarque : les distances sont calculées dans notre exemple grâce au distancier, donc à vol d'oiseau, mais on pourrait également considérer des distances réseau avec la matrice d'impédance idoine (cf. séance affectation).

Vous spécifierez (par exemple) de limiter le graphe aux déplacements inférieurs à 60 km (*End at = 60* ci-dessous), mais de quand même tenir compte des déplacements supérieurs à 60 km pour le calcul des statistiques de base (décocher *Ignore values above 60*).

Validez par « **OK** » : TransCAD affiche en premier les statistiques de base, puis le graphique donnant la distribution de la longueur des déplacements (TransCAD fournit également une matrice stockant tous les résultats).



Selon la version de TransCAD, ce panneau n'apparaît que si la case « Create Chart » est décochée.

3. Le choix du mode de déplacement

Nous nous intéressons dans cette partie au choix modal, c'est-à-dire à la façon dont les individus choisissent leur mode de déplacement. L'objectif est de modéliser ce choix, afin de pouvoir notamment étudier l'impact de nouveaux projets de transport sur le report modal.

DEFINITION

Le modèle de choix modal sert à répartir un volume de déplacement, connu initialement par segment de demande, par relation O-D et par période, entre plusieurs modes de transport disponibles pour ce segment et dans ces conditions. Les variables en input comprennent d'une part les volumes par segment et condition, et d'autre part la description du niveau de service offert par chacun des modes en concurrence. Les variables en output sont, par segment et condition, le volume affecté à chacun des modes en concurrence.

Plus précisément, pour modéliser le choix du mode de transport :

- On précise d'abord, par segment de demande concerné, l'univers de choix. Certains segments dits captifs s'affectent exclusivement à un mode (NB : dans MODUS, la captivité n'a pas cette définition là et un captif TC peut utiliser la VP \Rightarrow cf. Séance Génération, p.7). D'autres segments ont un univers de choix composé de deux modes motorisés, VP et TC : ils forment la majorité des trafics de voyageurs dans les grandes agglomérations françaises. Enfin, des segments ont un univers de choix modal plus large, incluant les modes doux tels que la marche ou les deux-roues non motorisés.

- Le choix entre la VP et les TC est modélisé en associant à chaque mode un coût généralisé modal, par relation O-D et segment de demande : le segment est affecté au mode le moins coûteux.

- Le propos précédent est une approximation : en fait, on modélise le rôle du coût généralisé G_{mi} du mode m pour le segment i , en attribuant à chaque mode m une part modale p_{mi} qui est une formule des deux coûts généralisés. Ainsi dans le modèle logit binaire, en notant m' le mode alternatif, la part

$$p_{mi} = \frac{\exp(-\theta G_{mi})}{\exp(-\theta G_{mi}) + \exp(-\theta G_{m'i})}$$

modale de m est formulée : Le paramètre positif θ dose la concentration du choix : plus il est fort plus le mode le moins coûteux reçoit de trafic.

- Diverses expressions sont possibles pour le coût généralisé et pour la formule de partage modal. Quand les expressions sont sophistiquées et dépendent d'une segmentation fine des déplacements, on dit que le modèle de choix est « désagrégé ».


- La fréquence du déplacement pour un voyageur détermine le titre tarifaire pour les TC, donc le prix du déplacement, donc le partage modal : cela ajoute une dimension de segmentation.

- Concernant la VP, le stationnement associé a un coût qu'il faut prendre en compte : la formule de stationnement (privé, public gratuit ou public payant) détermine le prix et ajoute encore une dimension de segmentation.

3.1. Application du modèle de choix modal de MODUS

Dans le cas du modèle MODUS, les parts modales sont très simples à établir une fois les utilités calculées. Elles sont données par les formules suivantes :

$$p^{TC} = \frac{e^{U^{TC}}}{e^{U^{TC}} + e^{U^{VP}} + e^{U^{MD}}} \quad p^{VP} = \frac{e^{U^{VP}}}{e^{U^{TC}} + e^{U^{VP}} + e^{U^{MD}}} \quad p^{MD} = \frac{e^{U^{MD}}}{e^{U^{TC}} + e^{U^{VP}} + e^{U^{MD}}}$$

Au lieu de créer une nouvelle matrice avec la commande « **File – New** », nous allons copier la matrice des utilités modales que nous allons modifier. Après avoir activé la matrice des utilités modales, lancez la commande « **Matrix – Copy** » (ou le raccourci ). Sélectionnez toutes les matrices à copier, choisissez comme nom de fichier « PartsModales.mtx » et changez le label en « Parts Modales ».

Calculez pour les 12 matrices les parts modales adéquates à l'aide des formules précédentes.

3.2. Représentation des parts modales


Nous nous concentrons dans un premier temps sur une zone de départ fixée (la zone 1), et analysons par cartes la répartition modale selon la zone de destination et le motif (3.2.1). Puis, nous agrégerons les résultats pour étudier les répartitions modales en provenance de l'ensemble de l'IdF, ce indépendamment de la zone d'arrivée considérée.

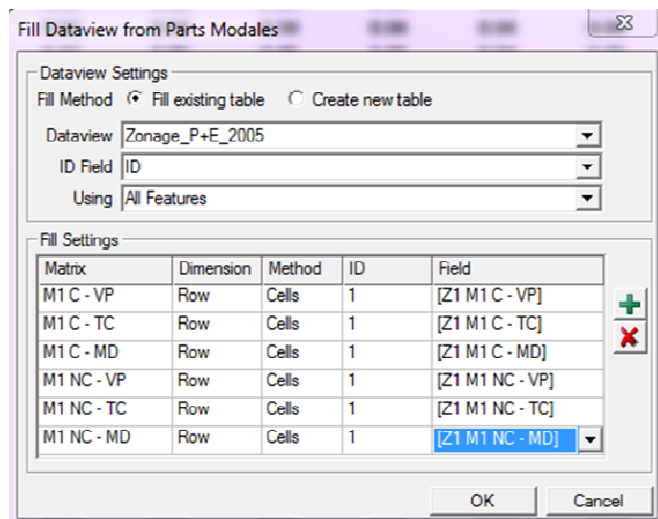
3.2.1. A partir d'une zone d'origine fixée

Ajoutez 6 champs réels à la couche du zonage, que vous nommerez comme ci-dessous.

Remarque : il est possible de changer le type de plusieurs variables à la fois comme illustré ci-dessous.



Activez la matrice des parts modales, puis lancez la commande « **Matrix – Fill Dataview** » (ou raccourci ). Remplissez les champs comme suit :



Dataview : table à remplir

ID Field : champ de la table correspondant aux indices de la matrice

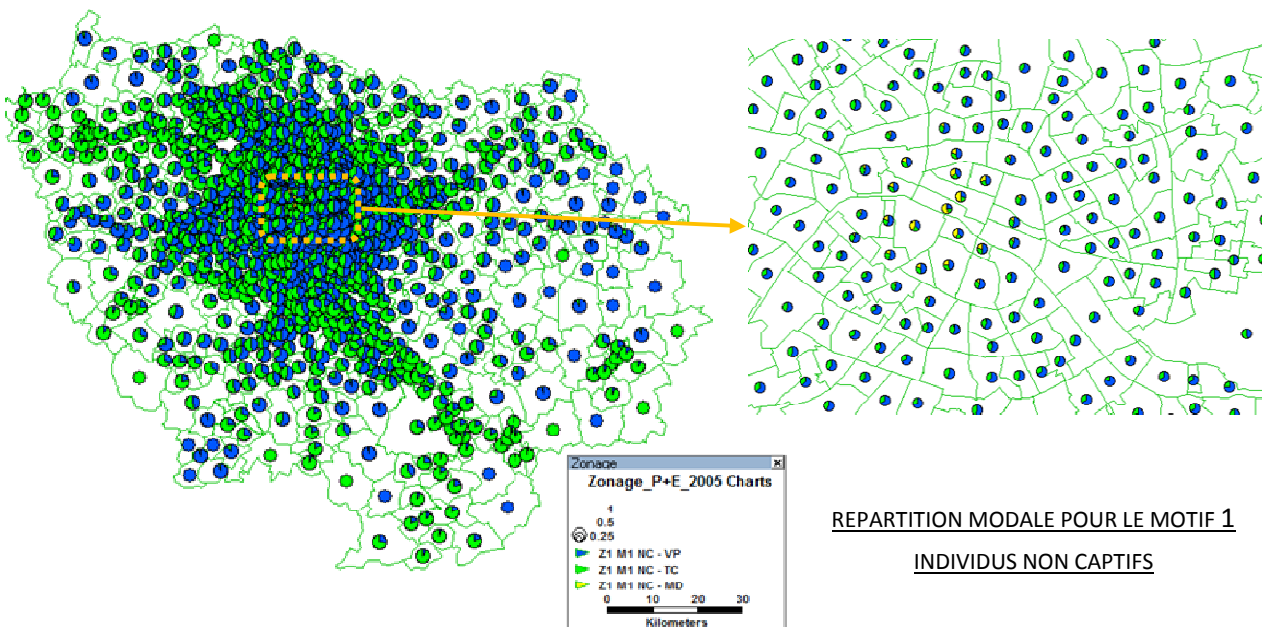
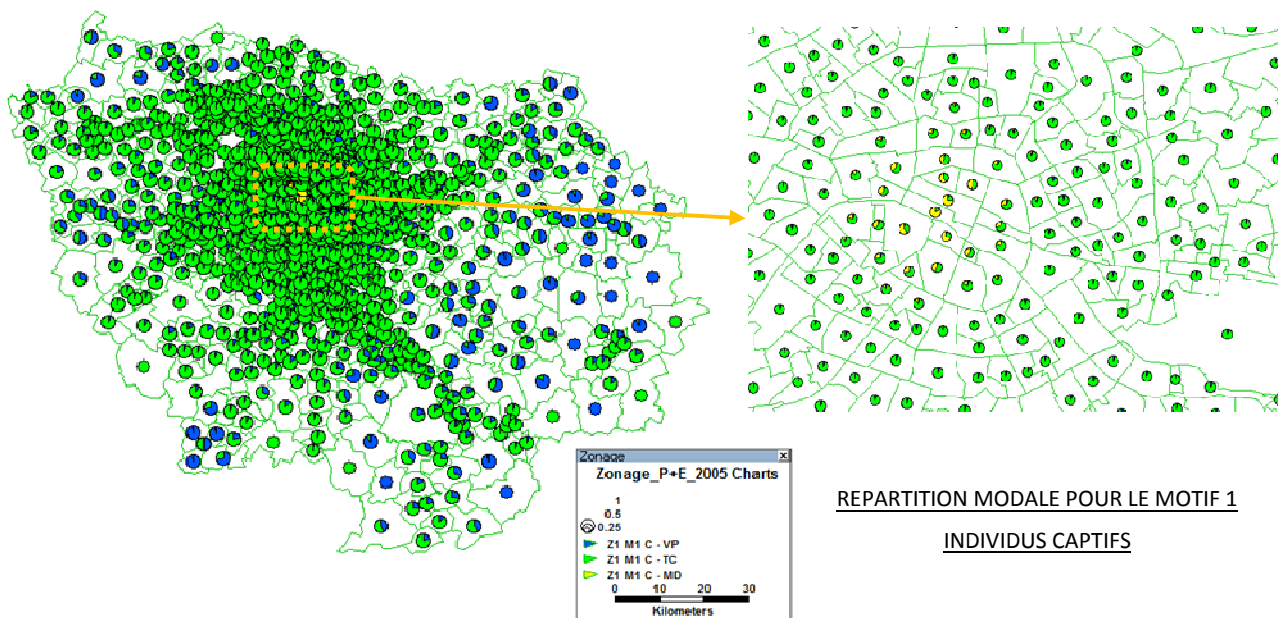
Matrix : matrice à copier dans la table

Method : comment remplir la table (copier les cellules, faire la somme de la ligne...)

ID : si pertinent, quelle ligne ou colonne utiliser

Field : champ de la table à remplir

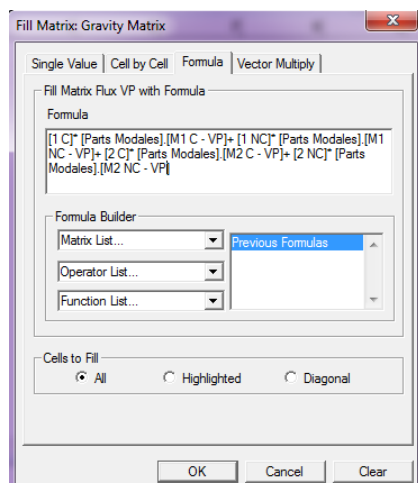
Nous pouvons désormais afficher les répartitions modales pour les individus contraints et non contraints partant de la zone 1 (qui correspond à la ligne d'ID=1 dans les matrices que nous venons de copier) et dont le motif de déplacement est « Domicile – Travail » (motif 1). Faites une carte pour les individus contraints d'abord, puis non contraints.



Vous pouvez constater la forte différence de comportement entre les individus contraints, qui de facto font un fort usage des transports en commun, et les individus non contraints qui à l'inverse utilisent majoritairement la voiture pour se rendre dans les zones périurbaines.

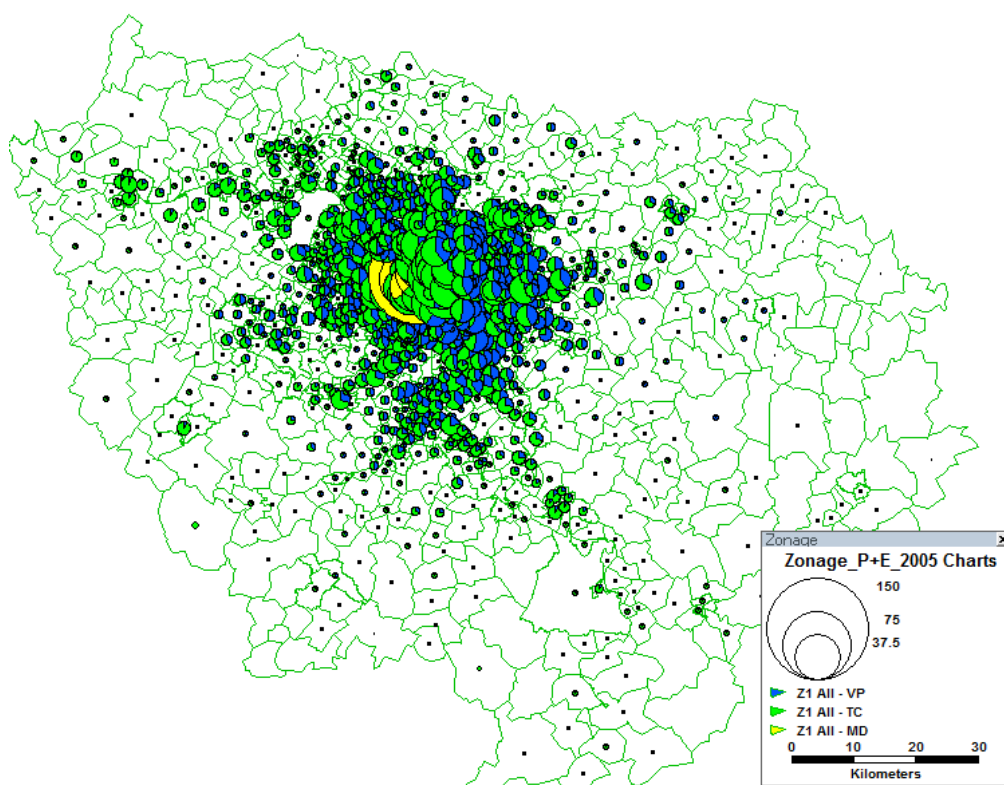
Nous allons maintenant chercher à représenter les parts modales à l'origine de la zone 1, mais de manière agrégée pour les 2 motifs et 2 segments de demande (C et NC).

Ajoutez à la matrice de distribution 3 matrices nommées : Flux VP, Flux TC et Flux MD. Remplissez ces matrices comme la somme des flux de chaque motif/segment pondéré par la part modale idoine (comme ci-dessous pour le flux VP):




Vous pouvez alors procéder comme précédemment pour récupérer au niveau de la couche du zonage les flux VP, TC et MD en provenance de la zone 1 vers l'ensemble des autres zones. Représentez ensuite les flux modaux sous la forme d'un diagramme en camembert, tous motifs et segments confondus. Le diamètre du cercle représente la taille du flux total tous modes confondus, et la répartition par couleurs les parts modales.

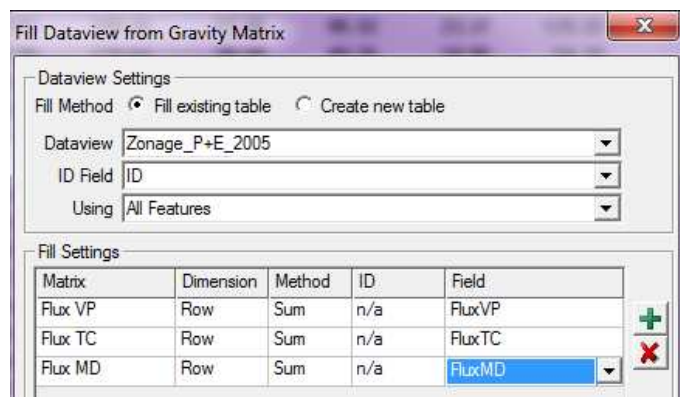
FLUX MODAUX EN PROVENANCE DE LA ZONE 1 (MOTIFS 1 ET 2, TOUS INDIVIDUS)



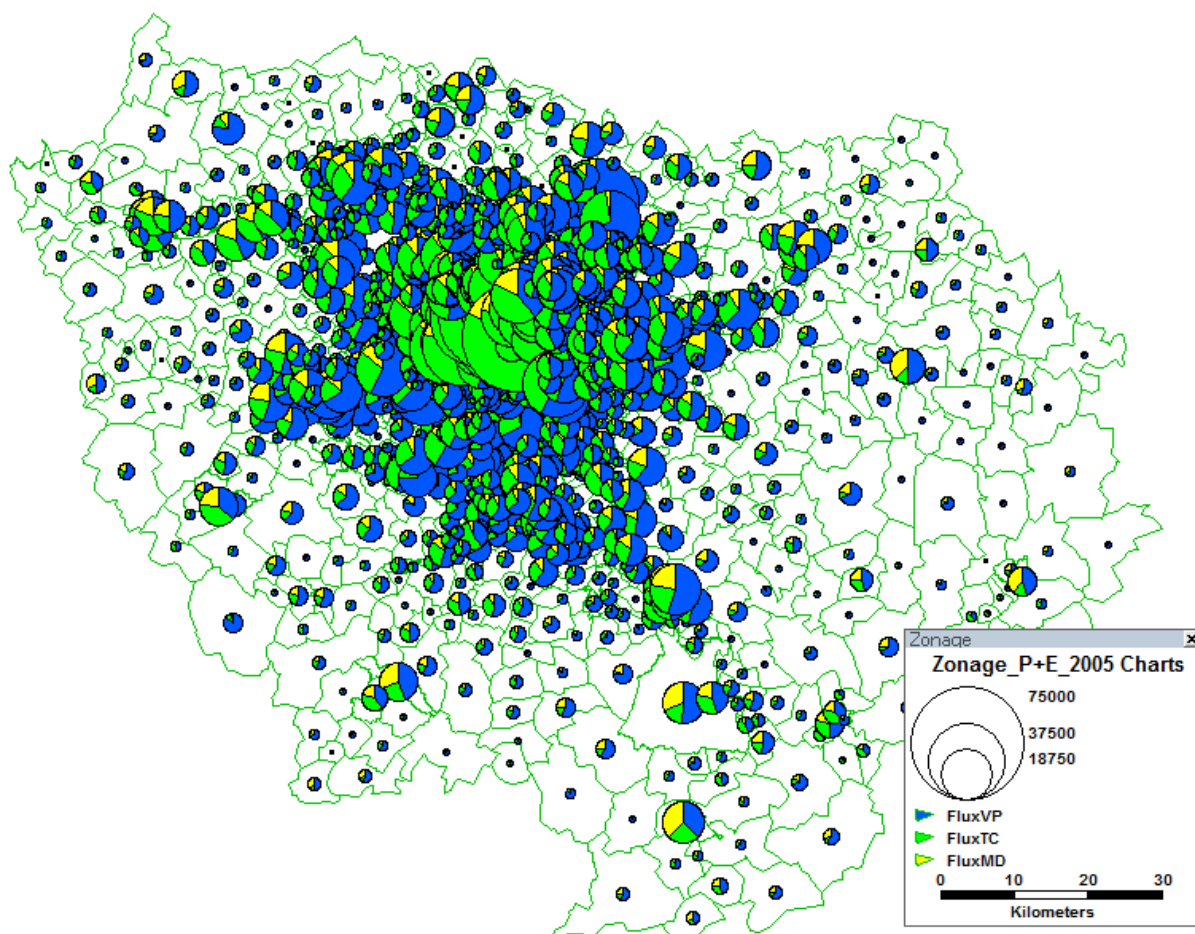
3.2.2. A partir de l'ensemble des zones d'origine

La dernière étape consiste à représenter les parts modales pour toutes les zones de départ (et non uniquement la zone 1). Pour chaque zone, nous souhaitons donc connaître les flux totaux VP, TC et MD, agrégés sur l'ensemble des zones de destination.



Comme précédemment, ajoutez 3 champs réels à la couche du zonage que vous nommerez FluxVP, FluxTC et FluxMD. Lancez ensuite la commande « **Matrix – Fill Dataview** » sur la matrice de distribution (ou raccourci ) , et copiez les flux VP, TC et MD dans la couche du zonage comme suit :



RESULTAT ATTENDU : PARTS MODALES EN ILE-DE-FRANCE, 2005



Récapitulatif des principales fonctions découvertes

Thème	Pour...	Fonction sur TransCAD...
Matrice	Créer une nouvelle matrice	« File – New »
	Copier une matrice	 ou « Matrix – Copy »
	Copier une matrice dans une table	 ou « Matrix – Fill Dataview »
Distribution	Créer un distancier	« Tools – Geographic Analysis – Distance Matrix »
	Lancer une procédure de distribution gravitaire (p.11)	« Planning – Trip Distribution – Gravity Application »
	Afficher des lignes de désir	« Tools – Geographic Analysis – Desire lines »
	Calculer la distribution des longueurs des déplacements	« Planning – Trip Distribution – Trip Length Distribution »

ANNEXE - Estimation et application d'un modèle de choix modal personnalisé

La première étape consiste à estimer les paramètres du modèle de choix modal. En effet, le coût généralisé peut se décomposer suivant les différentes variables explicatives (de segmentation) déterminant le choix, chacune y entrant à hauteur d'un paramètre, qu'il faut estimer.

TransCAD permet de réaliser cette opération d'estimation des paramètres du modèle de choix modal. Nous allons donc utiliser cette fonctionnalité. Néanmoins, pour des raisons de simplification pédagogique, nous avons adopté un certain nombre d'hypothèses :

Nous limitons notre analyse à l'HPM et aux motifs obligés (motifs 1 et 2 de la DREIF, ou encore Domicile-Travail (et Affaires Professionnelles) et Travail-Domicile.

Nous nous limitons à 3 modes : Mode Léger (ML), Véhicule Particulier (VP) et Transport Collectif (TC).

Parmi les usagers, on distingue les captifs TC et les autres. Les premiers sont directement affectés au TC, tandis que les seconds choisissent entre les trois modes précédents. En toute rigueur, les captifs TC devraient avoir le choix avec les ML, ou bien il faudrait en affecter forfaitairement une partie sur les ML, ce que nous ne ferons pas.

L'estimation du modèle Logit repose sur un algorithme de maximum de vraisemblance : celui-ci fournit les paramètres permettant rendre compte au mieux du choix modal effectivement effectué par les agents. Pour ce faire, l'algorithme emploie deux types de données : les données de l'Enquête Globale Transport (EGT) d'une part, qui fournit un grand nombre d'informations sur les déplacements des Franciliens, permettant en particulier d'avoir des renseignements sur les caractéristiques des agents qui se déplacent, notamment leur mode de déplacement ; des données de niveaux de service (temps de transport par chacun des modes), tarifs TC, fournies par des matrices.

Mise en place des données

Fermez l'ensemble des fenêtres de TransCAD. Nous allons commencer par ouvrir les fichiers de matrices nécessaires : « Mtx Tps TC.mtx », « Mtx Tps VP.mtx », « Mtx Distance Totale.mtx » et « Tarif CO.mtx ».

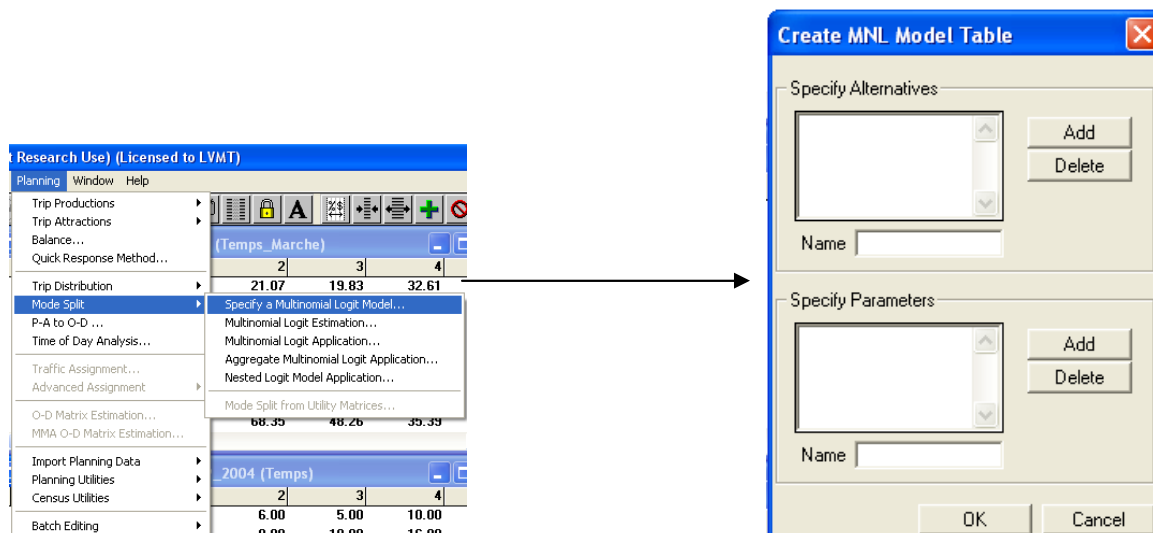
Ensuite, ouvrez le fichier contenant les données désagrégées issues de l'EGT : « NCO_HPM.bin ».

Les données nécessaires à l'estimation du modèle sont prêtes.

Création de la table du modèle

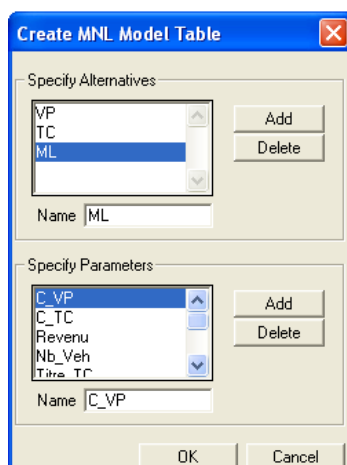
Si le menu « Planning » n'est pas présent sélectionnez l'item « **Procédures - Planning** » de façon à le faire apparaître.

Ensuite, sélectionnez l'item « **Planning - Mode Split - Specify a Multinomial Logit Model** », pour faire apparaître la fenêtre de création de table de modèle de choix :

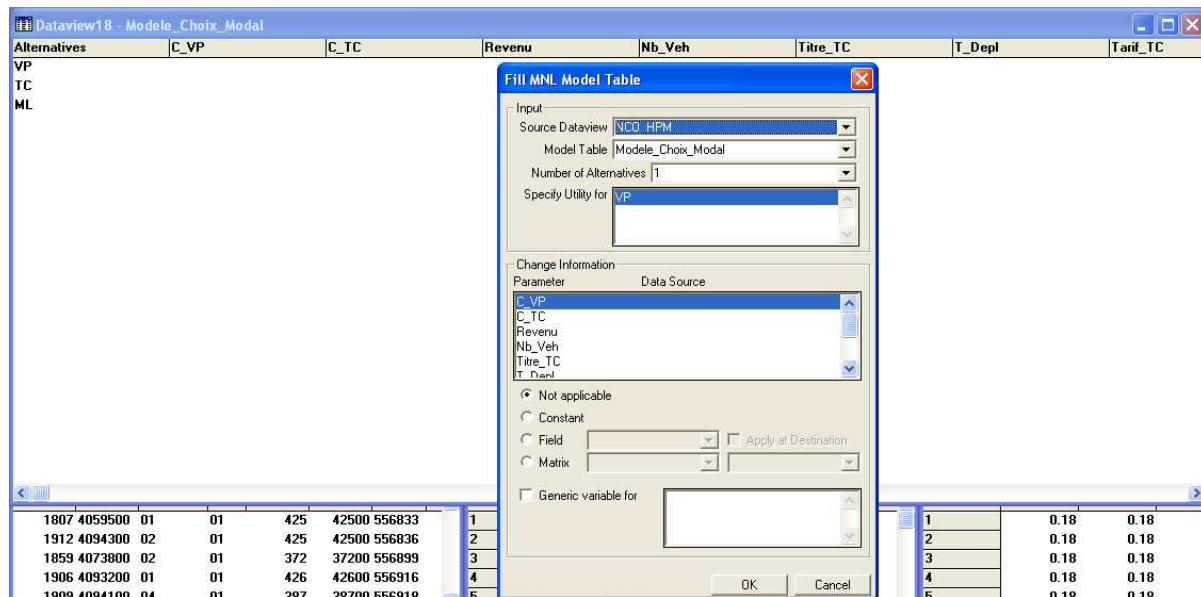


Avec le bouton Add du haut, ajoutez les trois modes VP, TC et ML. Avec le bouton Add du bas ajoutez les variables explicatives suivantes :

- C_VP : constante associée au coût généralisé de la VP,
- C_TC : constante associée au coût généralisé du TC,
- Revenu : tranche dans lequel se situe le revenu du ménage,
- Nb_Veh : nombre de véhicules à la disposition du ménage,
- Titre_TC : possession (1) ou non (0) d'un abonnement par l'agent effectuant le déplacement,
- T_Depl : durée du déplacement,
- Tarif_TC : prix du déplacement en TC,
- Densite_Res : densité de la zone de résidence de l'agent,
- Densité_Dest : densité de la zone de destination du déplacement.



Cliquez sur OK, la table s'affiche, encore vide, ainsi que la fenêtre de remplissage de table de modèle de choix modal :



Cette fenêtre permet de définir quelles variables explicatives doivent être utilisées pour chacun des modes.

Modifiez le nombre d'alternatives (indiquez 3). Puis, sélectionnez chacun des modes successivement.

Pour la VP :

- C_VP → cochez « Constant »
- Revenu → cochez « Field » puis choisissez « MRT »
- T_Depl → cochez « Matrix » puis « T_HPM_VP_2004 » puis « Temps »
- Densite_Res → cochez « Field » puis « Densite_res »
- Densite_Dest → cochez « Field » puis « Densite_dest ».

Pour le TC :

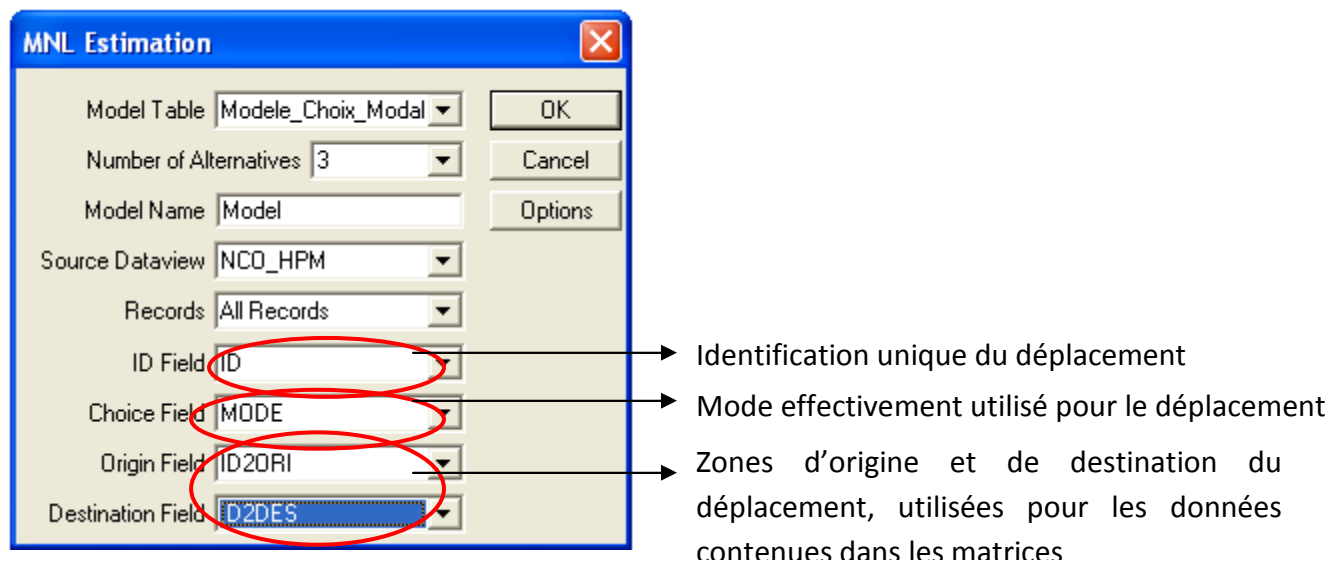
- C_TC → cochez « Constant »
- Titre_TC → cochez « Field » puis « IUCO »
- T_Depl → cochez « Matrix » puis « T_HPM_TC_2004 » puis « T_deplac »
- Tarif_TC → cochez « Matrix » puis « TarifCO » puis « tarifCO »
- Pour les ML :
- Nb_Veh → cochez « Field » puis « MVH »
- T_Depl → cochez « Matrix » puis « Dist Totale » puis « Temps_Marche »

La table remplie s'affiche.

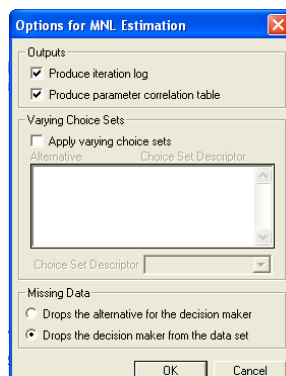
Calcul des paramètres du modèle

Nous allons maintenant utiliser TransCAD pour estimer les paramètres du modèle que nous venons de définir.

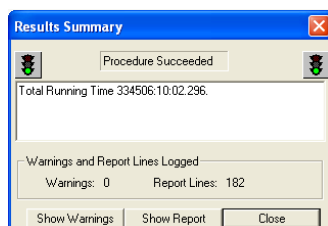
Sélectionnez l'item « **Planning-Mode Split-Multinomial Logit Estimation** ». La fenêtre suivante s'affiche : remplissez-la comme indiqué :



Cliquez sur « Options » et cochez les cases indiquées. La première permet d'enregistrer un rapport des itérations de l'algorithme. La seconde permet d'afficher une table de corrélations entre les variables qui peut se révéler utile pour diagnostiquer la présence de variables redondantes. Enfin, la dernière indique à TransCAD de ne pas tenir compte des déplacements dont l'ensemble des caractéristiques n'est pas disponible.



Cliquez sur OK, puis encore sur OK dans la fenêtre principale. TransCAD calcule le modèle et affiche la fenêtre de fin :



En cliquant sur « Show Report », on peut afficher le rapport de la procédure, qui permet d'obtenir le R^2 du résultat et divers autres indicateurs :

```

Nb_Veh          -1.873081      -42.665817      -1.558873
Titre_TC         5.164537       19.187031       0.334361
T_Depl          -0.018785      -1007950.595227    0.002322
Tarif_TC         0.033251       3620.803854      0.004524
Densite_Res     -0.002212       -4898.937405     0.000425
Densite_Dest    -0.000556       14131.594820     -0.000359

Iteration 10
Parameter        Estimate      Gradient      Change
C_VP             0.697972      -7.749196     0.182969
C_TC            -5.265493     35.439823    -0.170148
Revenu         -0.039429    -123.913392    -0.009492
Nb_Veh         -2.003700    -50.905350    -0.130618
Titre_TC       5.237834     21.758616     0.073298
T_Depl        -0.017890   -1007740.614848  0.000895
Tarif_TC       0.035405     3663.763528    0.002153
Densite_Res    -0.002287     -3527.228858   -0.000075
Densite_Dest   -0.000739     13605.514766   -0.000183

Maximum likelihood reached at iteration 11
Parameter        Estimate      Std. Err.      t Test
C_VP             0.697972      0.586449       1.190166
C_TC            -5.265493     0.618754      -8.509838
Revenu         -0.039429     0.030031      -1.312938
Nb_Veh         -2.003700     0.450766      -4.445095
Titre_TC       5.237834     0.178987     29.263766
T_Depl        -0.017890     0.001505    -11.883904
Tarif_TC       0.035405     0.003864      9.161681
Densite_Res    -0.002287     0.000469     -4.872098
Densite_Dest   -0.000739     0.000301     -2.457284

Log-likelihood at zero: -3289.245192
Log-likelihood at end:  -3316.089343
2*(LL(zero) - LL(end)): 4348.311698
Asymptotic rho squared: 0.660989
Adjusted rho squared:  0.658253

```

En cliquant sur « Close », les paramètres du modèle s'affichent dans la dernière ligne de la table du modèle :

Dataview18 - Modele_Choix_Modal									
Alternatives	C_VP	C_TC	Revenu	Nb_Veh	Titre_TC	T_Depl	Tarif_TC	Densite_Res	Densite_Dest
VP	ONE		MRT			T_HPM_VP_2004ITemps			
TC		ONE			IUCO	T_HPM_TC_2004IT_deplac	TarifCOtarifCO	Densite_res	Densite_dest
ML				MVH		Dist TotaleITemps_Marche			
Model	0.697972	-5.265493	-0.039429	-2.003700	5.237834	-0.017890	0.035405	-0.002287	-0.000739

Application du modèle de choix modal

Nous allons pouvoir utiliser ces paramètres pour appliquer le modèle de choix à une matrice de distribution des déplacements. Nous allons donc appliquer un modèle estimé sur des données désagrégées à des données agrégées par zone. Cela demande donc quelques ajustements.

Pour cela, il nous faut :

- Une base de données fournissant, pour chacune des zones, les variables explicatrices nécessaires au modèle.
- Une matrice contenant les flux tous modes entre les zones pour les motifs 1 et 2 de la DREIF à l'HPM, distinguant les captifs et les non captifs.

Importez le fichier de données « Caracteristiques_Modus.dbf », qui contient les variables explicatives moyennes par zone Modus.

Les noms des variables explicatives ne sont pas exactement les mêmes dans cette base de données que celles de la base utilisée pour l'estimation. Dans la table du modèle, effectuez les modifications illustrées sur l'image suivante :

Alternatives	C_VP	C_TC	Revenu	Nb_Veh	TTC	T_Depl	Tarif_TC	Densite_Ras	Densite_Dest
VP	ONE		REV		CO	T_HPM_VP_2004ITemps		Densite	D_Densite
TC		ONE		NVEH		T_HPM_TC_2004IT_deplac	TarifCOtarifCO		
ML						Dist TotaleITemps_Marche			
Model	0.697972	-5.265493	-0.039429	-2.003700	5.237834	-0.017890	0.035405	-0.002287	-0.000739

Le « D_ » placé devant « Densite » pour la variable « Densite_Dest » indique à TransCAD d'aller chercher la densité à la destination lorsqu'il examine les paires O-D.

Sélectionnez ensuite l'item « **Planning - Mode Split - Multinomial Logit Application** ». La fenêtre suivante s'ouvre, remplissez la comme indiqué :

Lancez la procédure : après avoir choisi le nom d'enregistrement d'un fichier de matrices de sortie, TransCAD calcule les parts modales, pour chaque O-D. Les matrices de sortie fournissent donc les parts modales de chacun des trois modes, pour toutes les paires O-D.

Il ne reste donc qu'à appliquer ces parts modales à des matrices de distribution spatiale des déplacements.

Pour cela, ouvrez le fichier de matrices « Mtx Distribution.mtx ». Il se compose de 6 matrices, dont les deux dernières nous seront utiles : « Captifs_HPM » et « Non_Captifs_HPM ». Sélectionnez la table des matrices de sortie des parts modales, et combinez ce fichier avec le fichier de distribution spatiale, avec la fonction « **Matrix-Combine** ». Ensuite, créez, avec « **Matrix-Contents** » 4 nouvelles matrices dans ce fichier : « Flux ML », « Flux TC » et « Flux VP » et « Flux UVP ». Utilisez ensuite l'item « **Matrix-Fill** » et l'onglet « Formula » pour multiplier, pour chacun des trois modes, la matrice des parts modales avec celle de distribution spatiale des non captifs.

Pour la VP, le passage aux flux d'UVP (Unité de Véhicule Particulier) se fait en divisant les flux obtenus par le coefficient d'occupation des véhicules 1.218.

Pour les TC, les flux totaux sont obtenus en ajoutant aux flux des non captifs choisissant le TC, l'ensemble des flux des captifs.

Pour le TC, vous devez finalement obtenir une matrice de ce type :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	101.80	--	25.39	28.55	3.80	2.29	0.05	5.87	0.78	4.82	0.61	1.23	--	0.17
2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	56.22	--	101.72	77.36	12.15	7.35	0.07	13.01	1.98	9.19	1.23	2.78	--	0.41
4	36.44	--	47.84	420.20	24.37	14.56	0.11	20.59	3.93	13.05	1.82	4.35	--	0.72
5	20.48	--	19.57	73.51	42.26	15.07	0.12	26.03	3.86	16.37	2.03	5.47	--	0.69
6	3.26	--	3.70	15.93	6.67	13.78	0.04	8.94	1.11	4.65	0.55	1.54	--	0.23
7	5.32	--	4.52	12.25	3.53	2.84	0.06	8.62	1.37	8.04	1.06	2.40	--	0.28
8	23.15	--	18.47	73.27	25.95	22.47	0.23	177.87	10.84	44.94	5.60	15.54	--	3.06
9	1.04	--	0.53	1.93	0.64	0.55	0.02	2.62	2.25	2.30	0.28	0.94	--	0.05
10	8.08	--	5.82	20.71	4.53	5.37	0.10	20.94	5.03	103.78	6.58	15.65	--	0.66
11	0.96	--	0.77	2.35	0.42	0.79	0.01	2.86	0.53	6.46	4.46	2.43	--	0.06
12	1.41	--	1.02	3.36	0.92	1.18	0.02	4.68	1.25	9.46	1.27	14.09	--	0.21
13	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14	3.04	--	2.10	9.32	2.68	4.59	0.04	24.46	1.35	7.15	0.72	2.97	--	10.33
15	9.98	--	8.39	44.01	10.79	12.18	0.07	39.59	3.46	19.67	2.33	10.90	--	2.18

Pour finir, à l'aide de la fonction « **Matrix – Statistics** », calculez les parts modales totales pour les motifs 1 et 2 obtenues avec notre modèle.

Proposez une représentation graphique des parts modales estimées depuis la zone IRIS de votre choix (ici par exemple dans la commune de Champs / Marne). La procédure requiert plusieurs étapes déjà effectuées.

