

# MODELISATION DES DEPLACEMENTS URBAINS

DEMARCHE A 4 ETAPES  
DAVIS DE L'INRETS



# LA MODELISATION DES DEPLACEMENTS URBAINS

La modélisation des déplacements urbains s'intéresse aux déplacements des individus. Leur connaissance et leur maîtrise constituent des objectifs importants des politiques pour lesquels des spécialistes mènent des études. La modélisation s'appuie sur des outils informatiques et des concepts.

Les outils sont issus de la recherche, en France l'INRETS, qui a développé les outils DAVIS que l'on présentera. Les concepts sont ceux de la Démarche à 4 étapes (Génération, Distribution, Choix Modal et Affectation) que l'on développera.

DAVIS est un programme qui permet de créer un modèle de déplacement macroscopique statique et horaire dans le cadre d'une approche agrégée. Il est constitué de deux objets de base qui représentent l'offre et la demande, qui confrontés permettent de calculer une affectation numérique. La Démarche à 4 étapes postule un comportement rationnel des individus qui pour leurs déplacements, relativement à des motifs et des modes de transport, d'une origine à une destination vont prendre le plus court chemin en temps et choisir le mode approprié idéal.

<http://www.morelli.fr/>



# PLAN

## LA MODELISATION

Introduction historique

Démarche cartésienne, systémique

Mathématique et Informatique

Représentation, Qualité, Objectif

Classe de modèle, Type de représentation, Approches, Principes ou Postulats

## LA MODELISATION MACROSCOPIQUE DES DEPLACEMENTS URBAINS

Démarche multi modale à 4 étapes

La structure des modèles, les données,

L'enquête ménage, mobilité, mode, motif

### ❖ Génération

- Démarche normative
- Démarche modèle
- Générateur particulier

### ❖ Distribution

- Différents modèles de distribution

### ❖ Choix Modal

- Démarche agrégée
- Démarche désagrégée

### ❖ Affectation

- Offre, graphe, valuation, valeur du temps
- Affectation statique mode TI, TC, différents algorithmes
- La demande écrêtée et la congestion
- Affectation macroscopique dynamique

## LE CALAGE DE MODELE

Les données (comptages, temps de parcours, enquêtes origine destination minéralogique, interview)

L'offre, la demande, les critères, les méthodes.

# LA MODELISATION

## Introduction

Dans l'antiquité le modèle est d'abord une maquette physique qui reproduit la réalité d'un objet de très grande dimension.

⇒ L'objectif est de réaliser des tests, des mesures, difficiles à réaliser sur la chose réelle.

Lors de la période de la Renaissance la notion de modèle prend une nouvelle dimension grâce à l'évolution des connaissances.

Ce qui nous intéresse désormais, est une transcription abstraite de la réalité, contrôlée par la pensée logique et mathématique.

L'économiste, le sociologue, le biologiste donnent des modèles théoriques de ce qu'ils décrivent.

Exemple : l'économiste considère les décisions d'un « agent parfait ».

## Différents types de modèle

- modèle mathématique
- modèle en physique
- modèle dans les sciences de la terre
- modèle en biologie
- modèle en sciences sociales
- modèle en psychologie
- modèle en linguistique

# LA MODELISATION

## Démarche Cartésienne

Les cartésiens sont des chrétiens qui proposent une approche finaliste.  
Elle a ses limites et ne permet qu'une approche globale mécaniste.  
Le monde est tout entier une machine. La nature n'est plus vivante ou animée.  
On postule le déterminisme.

## Démarche Systémique

Elle voit la réalité comme un système, offre demande, équilibre.  
Le comportemental est envisageable.  
L'aléatoire, la récurrence participent à la réflexion.

## Mathématique

Un arsenal de méthodes mathématiques est utilisées, des artefacts implémentent des hypothèses qui sont soumises au calcul.

## Informatique

L'informatique est l'outil fondamental de travail.

# LA MODELISATION

## Représentation de la réalité

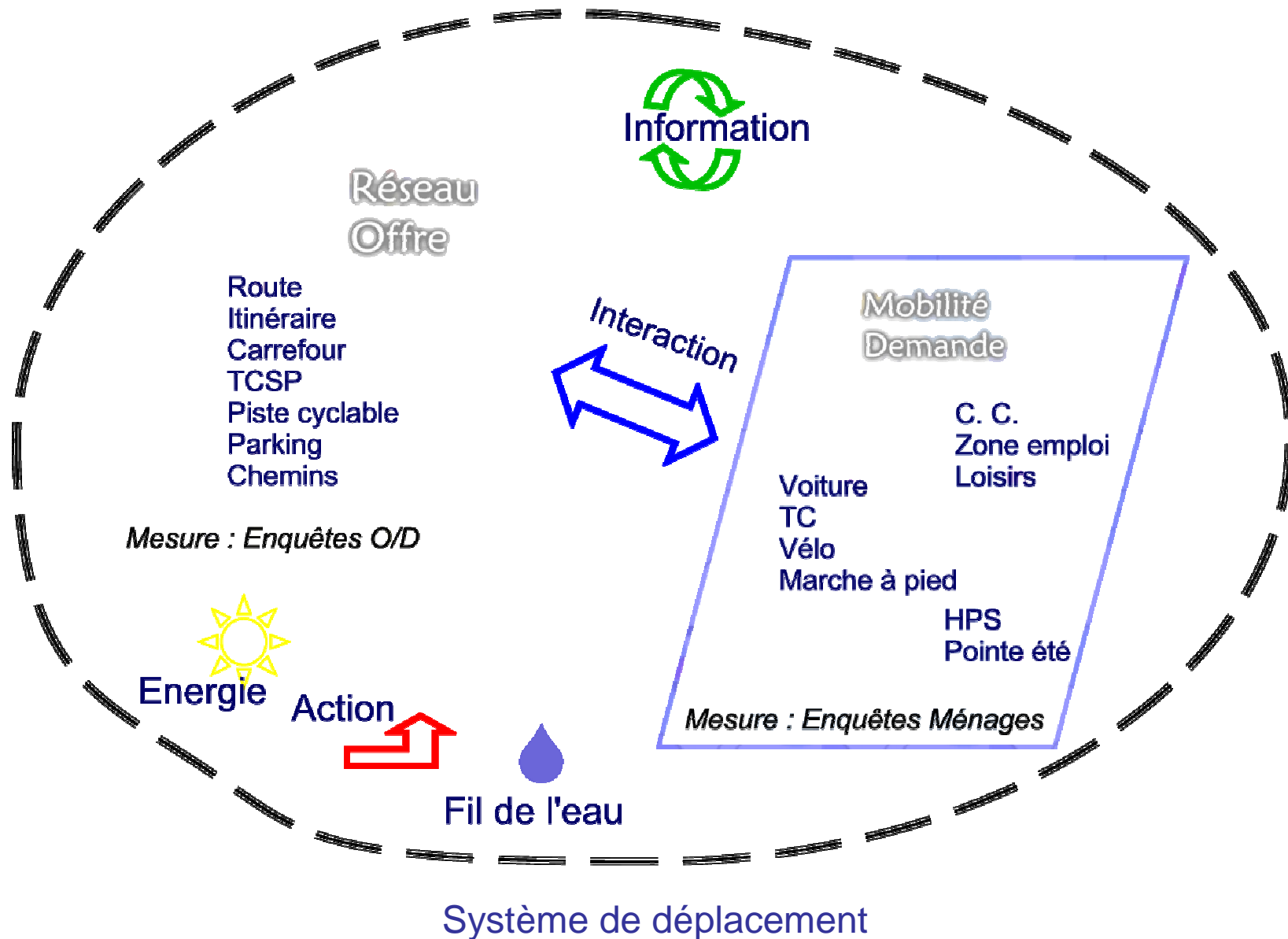
- ❖ Modèle descriptif, son objectif est de comprendre, d'expliquer à partir d'une masse de données.
- ❖ Modèle prédictif, destiné aux tests et à la prévision, dans l'interprétation le cheminement intellectuel consiste à aller du modèle vers le réel.

## Qualité d'un modèle

Elle s'apprécie à travers sa pertinence.

- Données disponibles.
- Représentation des phénomènes réels (saturation, congestion, modélisation de la demande).
- Sortie de l'épure (temps de parcours supérieur à 1h).

# LA MODELISATION



# LA MODELISATION

## Trois grandes classes de modèle

- ✚ microscopique dynamique
- ✚ macroscopique statique
- ✚ mésoscopique

## Deux types de représentation

- ✚ discrétisation temporelle
- ✚ discrétisation événementielle

## Deux approches

- ✚ déterministe
- ✚ stochastique ou probabiliste

## Postulat

- ✚ comportement rationnel et moyen d'agent identique
- ✚ connaissance parfaite et correcte
- ✚ état stationnaire

# LA MODELISATION MACROSCOPIQUE DES DEPLACEMENTS

## Démarche multi modale à 4 étapes

🚶 Agrégé, on utilise des variables qui représentent des comportements moyens sur des zones.

🚶🚶 Désagrégé, on représente des comportements individuels.

🚶 **Génération** Combien de déplacement

📍 **Distribution** Ou se déplace t-on

📄 **Choix modal** Comment se déplace t-on

📍➡ **Affectation** Quel chemin prend t-on

Les 3 premières étapes définissent le calcul de la demande

La quatrième étape calcule l'affectation modale sur l'offre.

Historiquement les premiers modèles sont agrégés. Par la suite les modèles désagrégés ont permis de tenir compte de l'hétérogénéité des comportements, notamment dans l'étape de choix modal.

Désormais on combine dans la démarche des temps de travail sur des variables agrégés ou désagrégés.

# STRUCTURE DES MODELES

## Principe

Modélisation, macroscopique, statique et horaire

## L'offre

Graphe du réseau, nœud, arc réel, arc fictif, centroïde (barycentre zone),

VP : hiérarchisation, capacité, longueur, vitesse, mouvement tournant, péage,...

TC : ligne, fréquence, capacité, longueur, vitesse, temps d'arrêt, temps de correspondance, temps de descente,.....

## La demande

Matrice de déplacement, horaire, motif, mode, valeur du temps

## La matière est la donnée informatique.

Elle est stockée idéalement dans des bases de données.

Elle est structurée.

Elle est maintenue, mise à jour.

## Confrontation Offre Demande - > Affectation, simulation

Paramètre de calcul, algorithme

# ENQUETE MENAGE

L'objectif est de mesurer différents paramètres sur la population.

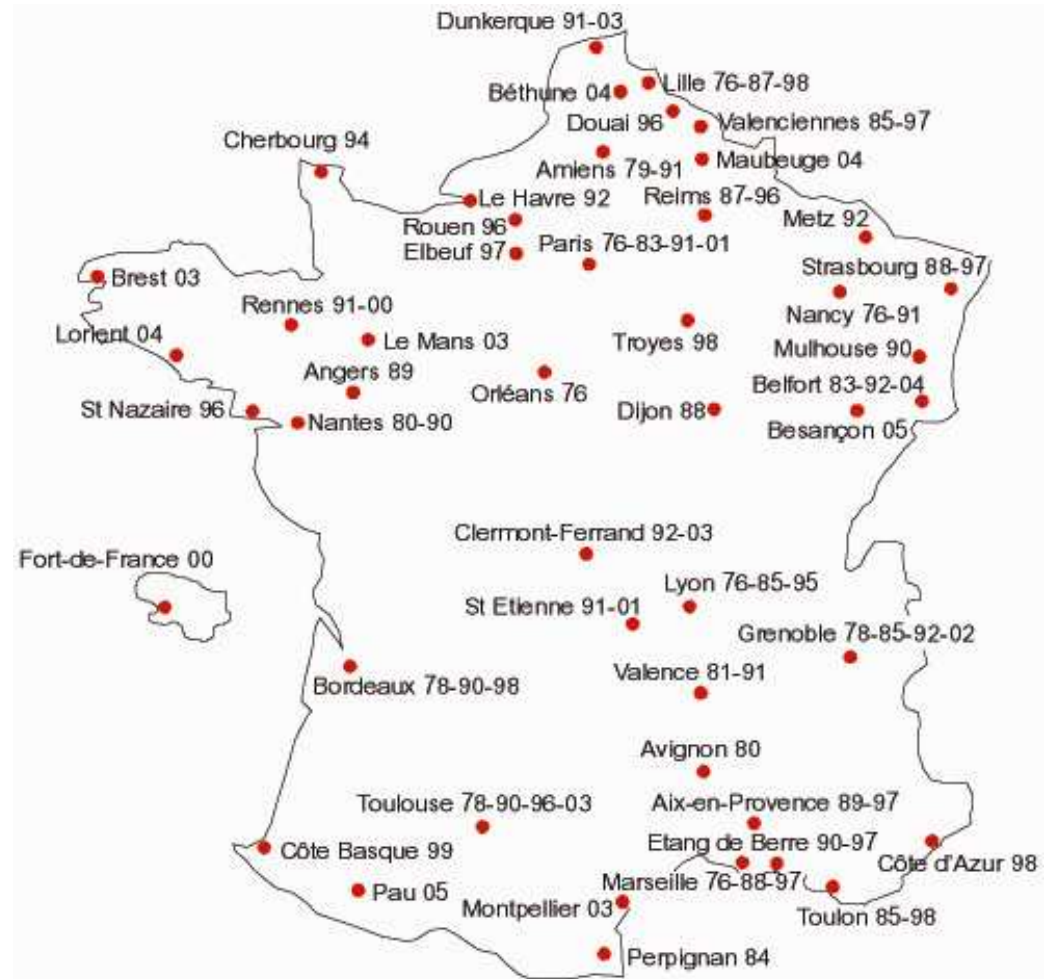
Un échantillon est soumis à un questionnaire sur ses déplacements sur 24h.

Les mesures les plus importantes :

- Mobilité
- Mode
- Motif

Le CERTU est dépositaire d'une méthodologie.

- ✓ Préparation
- ✓ Enquête terrain
- ✓ Exploitation



Agglomérations ayant réalisé une ou plusieurs enquêtes ménages déplacements « standard CERTU » et figurant dans la base de données du CERTU

# ENQUETE MENAGE

## Mobilité

C'est le nombre de déplacements par personne et par jour. Il varie entre 3 et 4 en France.

Mobilités quotidiennes par personne situation Septembre 2003															
Enquête	Année	Marche	Vélo	TCU	Autre TC	Deux roues motorisés	Voiture conducteur	Voiture passager	Autre mode	Total deux roues	Total TC	Total voiture	Total mécanisés	Total hors voiture	Total tous modes
Aix	1989	0.72	0.03	0.10	0.13	0.05	1.40	0.47	0.03	0.08	0.23	1.87	2.20	1.05	2.92
Aix	1997	1.05	0.02	0.11	0.13	0.06	1.86	0.58	0.03	0.08	0.23	2.44	2.79	1.39	3.83
Amiens	1979	1.38	0.11	0.24	0.04	0.16	1.03	0.42	0.04	0.27	0.28	1.45	2.03	1.97	3.41
Amiens	1991	0.94	0.03	0.24	0.06	0.04	1.27	0.43	0.04	0.07	0.30	1.70	2.11	1.35	3.05
Angers	1989	0.84	0.12	0.37	0.02	0.07	1.39	0.41	0.02	0.18	0.39	1.79	2.38	1.43	3.22
Avignon	1980	1.19	0.35	0.11	0.02	0.24	1.07	0.35	0.03	0.59	0.13	1.42	2.17	1.94	3.36
Belfort	1983	1.16	0.16	0.16	0.15	0.11	1.33	0.49	0.03	0.26	0.31	1.82	2.42	1.76	3.57
Belfort	1992	0.75	0.09	0.15	0.21	0.04	1.56	0.56	0.04	0.13	0.36	2.12	2.65	1.27	3.39
Bordeaux	1978	0.79	0.17	0.26	0.03	0.15	1.09	0.32	0.02	0.33	0.28	1.42	2.04	1.41	2.83
Bordeaux	1990	0.62	0.11	0.23	0.07	0.07	1.52	0.46	0.04	0.18	0.30	1.97	2.49	1.13	3.11
Bordeaux	1998	0.70	0.10	0.23	0.05	0.05	1.88	0.53	0.03	0.15	0.29	2.41	2.88	1.17	3.58
Cherbourg	1994	1.08	0.11	0.16	0.06	0.09	1.62	0.61	0.03	0.20	0.22	2.23	2.68	1.53	3.76
Clermont	1992	0.81	0.06	0.21	0.09	0.05	1.63	0.51	0.03	0.12	0.29	2.14	2.58	1.25	3.39
<b>Côte Basque</b>	<b>1999</b>	<b>0.42</b>	<b>0.04</b>	<b>0.08</b>	<b>0.06</b>	<b>0.09</b>	<b>2.10</b>	<b>0.58</b>	<b>0.01</b>	<b>0.13</b>	<b>0.14</b>	<b>2.68</b>	<b>2.96</b>	<b>0.70</b>	<b>3.38</b>
Côte d'azur	1998	1.17	0.03	0.15	0.08	0.14	1.62	0.53	0.04	0.17	0.23	2.15	2.58	1.60	3.75
Dijon	1988	1.36	0.08	0.49	0.05	0.05	1.48	0.45	0.03	0.13	0.54	1.93	2.62	2.05	3.98
Douai	1996	0.98	0.14	0.13	0.10	0.04	1.44	0.66	0.03	0.18	0.23	2.10	2.54	1.41	3.51
Dunkerque	1991	1.05	0.14	0.20	0.08	0.05	1.45	0.58	0.04	0.20	0.29	2.03	2.55	1.57	3.60
Elbeuf	1997	0.99	0.06	0.16	0.05	0.03	1.56	0.61	0.03	0.09	0.21	2.17	2.49	1.31	3.48
Etang De Berre	1990	0.79	0.05	0.05	0.15	0.05	1.60	0.58	0.03	0.10	0.21	2.18	2.51	1.12	3.30
Etang De Berre	1997	0.91	0.03	0.06	0.12	0.03	1.83	0.60	0.02	0.06	0.19	2.43	2.69	1.18	3.60
<b>Fort de France</b>	<b>2000</b>	<b>0.53</b>	<b>0.01</b>	<b>0.18</b>	<b>0.24</b>	<b>0.04</b>	<b>1.49</b>	<b>0.59</b>	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.42</b>	<b>2.08</b>	<b>2.57</b>	<b>1.02</b>	<b>3.10</b>
Grenoble	1978	1.66	0.25	0.31	0.06	0.19	1.15	0.40	0.03	0.43	0.37	1.55	2.38	2.49	4.04
Grenoble	1985	1.34	0.12	0.33	0.06	0.05	1.36	0.45	0.04	0.18	0.38	1.81	2.40	1.93	3.74
Grenoble	1992	0.98	0.13	0.45	0.04	0.02	1.48	0.45	0.03	0.16	0.49	1.93	2.60	1.65	3.58
Grenoble agglo	2002	1.21	0.10	0.51	0.04	0.02	1.62	0.50	0.03	0.12	0.54	2.13	2.82	1.90	4.03
Grenoble Total	2002	0.95	0.07	0.28	0.10	0.02	1.87	0.58	0.04	0.10	0.38	2.44	2.96	1.47	3.91
Le Havre	1992	1.10	0.04	0.27	0.05	0.07	1.43	0.55	0.02	0.10	0.32	1.99	2.43	1.54	3.52
Lille	1976	1.02	0.16	0.16	0.03	0.16	0.82	0.31	0.02	0.32	0.19	1.13	1.66	1.55	2.68
Lille	1987	1.12	0.12	0.18	0.06	0.04	1.36	0.55	0.03	0.16	0.24	1.91	2.34	1.55	3.46
Lille	1998	1.14	0.08	0.21	0.06	0.03	1.78	0.66	0.04	0.11	0.27	2.44	2.85	1.55	3.99
Lorient	1982	0.66	0.10	0.16	0.12	0.07	0.84	0.29	0.02	0.17	0.28	1.13	1.60	1.13	2.27
Lyon	1976	1.57	0.09	0.34	0.04	0.11	0.98	0.31	0.01	0.19	0.38	1.30	1.88	2.15	3.45

Source CERTU

# ENQUETE MENAGE

## Mobilité

Enquête	Année	Marche	Vélo	TCU	Autre TC	Deux roues motorisés	Voiture conducteur	Voiture passager	Autre mode	Total deux roues	Total TC	Total voiture	Total mécanisés	Total hors voiture	Total tous modes
Lyon	1985	1.12	0.03	0.42	0.05	0.03	1.21	0.37	0.03	0.06	0.47	1.58	2.13	1.68	3.26
Lyon	1995	1.14	0.03	0.45	0.04	0.02	1.50	0.43	0.03	0.05	0.49	1.93	2.49	1.71	3.63
Marseille	1976	1.79	0.02	0.26	0.04	0.16	0.79	0.34	0.03	0.18	0.30	1.13	1.64	2.30	3.43
Marseille	1988	1.02	0.01	0.29	0.04	0.06	1.08	0.37	0.04	0.07	0.33	1.45	1.89	1.46	2.91
Marseille	1997	1.05	0.01	0.30	0.04	0.05	1.35	0.42	0.02	0.07	0.34	1.78	2.20	1.48	3.25
Metz	1992	1.00	0.04	0.26	0.05	0.05	1.43	0.46	0.04	0.08	0.31	1.89	2.32	1.44	3.32
Mulhouse	1990	0.86	0.14	0.30	0.08	0.04	1.46	0.45	0.04	0.18	0.38	1.91	2.50	1.45	3.36
Nancy	1976	1.43	0.05	0.27	0.05	0.17	0.84	0.29	0.03	0.22	0.32	1.13	1.70	2.00	3.13
Nancy	1991	1.09	0.04	0.30	0.06	0.05	1.61	0.52	0.04	0.08	0.36	2.13	2.61	1.57	3.70
Nantes	1980	0.78	0.17	0.33	0.06	0.17	0.95	0.31	0.02	0.33	0.39	1.25	2.00	1.54	2.78
Nantes	1990	0.72	0.07	0.41	0.03	0.08	1.50	0.45	0.02	0.15	0.44	1.95	2.56	1.33	3.28
Orleans	1976	1.22	0.25	0.12	0.08	0.27	1.09	0.40	0.04	0.52	0.20	1.49	2.25	1.97	3.46
Paris	1976	1.30	0.06	0.57	0.05	0.11	0.77	0.24	0.04	0.17	0.61	1.01	1.83	2.12	3.13
Paris	1983	1.20	0.04	0.59	0.04	0.05	0.90	0.29	0.03	0.09	0.62	1.19	1.94	1.95	3.13
Paris	1991	1.07	0.03	0.60	0.03	0.03	1.05	0.32	0.03	0.06	0.64	1.37	2.10	1.79	3.17
Paris	1998	1.15	0.04	0.60	0.04	0.03	1.17	0.38	0.02	0.07	0.64	1.54	2.27	1.87	3.42
Perpignan	1984	1.21	0.07	0.32	0.03	0.08	1.12	0.40	0.03	0.15	0.35	1.52	2.04	1.73	3.25
Reims	1987	1.50	0.05	0.36	0.04	0.05	1.56	0.52	0.07	0.10	0.39	2.08	2.64	2.07	4.14
Reims	1996	1.02	0.04	0.37	0.04	0.03	1.71	0.54	0.02	0.07	0.41	2.25	2.74	1.51	3.76
Rennes	1991	0.96	0.12	0.36	0.05	0.04	1.45	0.45	0.02	0.16	0.41	1.90	2.48	1.54	3.44
<b>Rennes</b>	<b>2000</b>	<b>1.00</b>	<b>0.12</b>	<b>0.31</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>1.62</b>	<b>0.45</b>	<b>0.02</b>	<b>0.15</b>	<b>0.36</b>	<b>2.07</b>	<b>2.59</b>	<b>1.52</b>	<b>3.59</b>
Rouen	1996	1.01	0.03	0.29	0.03	0.04	1.50	0.49	0.02	0.07	0.32	1.99	2.40	1.41	3.40
Saint Etienne	1991	1.06	0.02	0.39	0.06	0.03	1.38	0.46	0.03	0.04	0.45	1.84	2.36	1.58	3.42
<b>Saint Etienne</b>	<b>2001</b>	<b>1.05</b>	<b>0.02</b>	<b>0.26</b>	<b>0.10</b>	<b>0.03</b>	<b>1.58</b>	<b>0.51</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.36</b>	<b>2.09</b>	<b>2.53</b>	<b>1.49</b>	<b>3.58</b>
Saint Nazaire	1996	0.60	0.15	0.07	0.14	0.07	1.86	0.66	0.04	0.22	0.20	2.52	2.99	1.07	3.58
Strasbourg	1988	1.23	0.30	0.23	0.05	0.08	1.39	0.47	0.04	0.38	0.28	1.86	2.57	1.94	3.80
Strasbourg	1997	1.25	0.26	0.28	0.07	0.03	1.74	0.51	0.04	0.29	0.35	2.25	2.94	1.93	4.19
Toulon	1985	0.84	0.03	0.32	0.04	0.12	1.05	0.35	0.03	0.15	0.36	1.40	1.95	1.39	2.79
Toulon	1998	1.02	0.03	0.23	0.03	0.08	1.55	0.55	0.02	0.12	0.26	2.10	2.50	1.42	3.52
Toulouse	1978	0.95	0.13	0.28	0.02	0.18	1.08	0.35	0.02	0.31	0.30	1.43	2.06	1.57	3.00
Toulouse	1990	0.59	0.09	0.24	0.05	0.07	1.42	0.42	0.03	0.16	0.30	1.84	2.32	1.07	2.91
Toulouse	1996	0.77	0.10	0.28	0.06	0.04	1.74	0.49	0.04	0.14	0.35	2.23	2.75	1.29	3.52
Troyes	1998	0.87	0.13	0.19	0.03	0.08	1.85	0.62	0.02	0.20	0.22	2.47	2.91	1.31	3.78
Valence	1981	1.30	0.20	0.19	0.12	0.17	1.27	0.41	0.05	0.37	0.31	1.69	2.42	2.03	3.72
Valence (Rovaltain)	1991	0.76	0.20	0.10	0.09	0.08	1.83	0.61	0.06	0.28	0.19	2.43	2.96	1.28	3.72
Valenciennes	1985	1.11	0.22	0.19	0.07	0.07	1.09	0.54	0.07	0.29	0.27	1.63	2.26	1.74	3.37

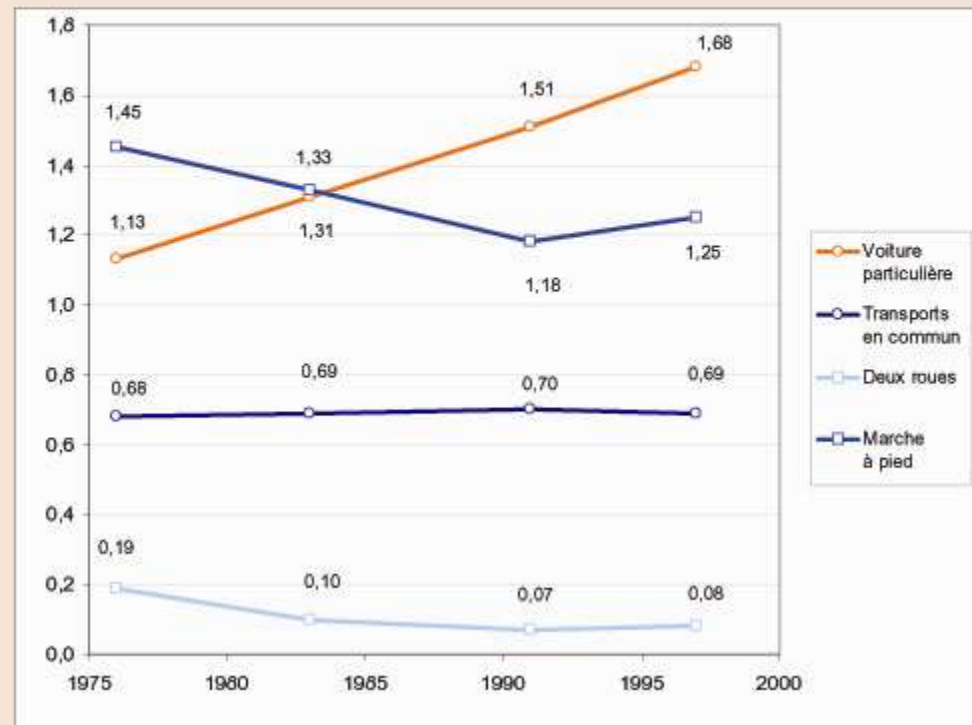
Source CERIU

# ENQUETE MENAGE

## LA MOBILITE



### Le nombre moyen de déplacements quotidiens par personne et par mode



Source EGT IDF 2001

# ENQUETE MENAGE

Source EGT IDF 2001

## Motif

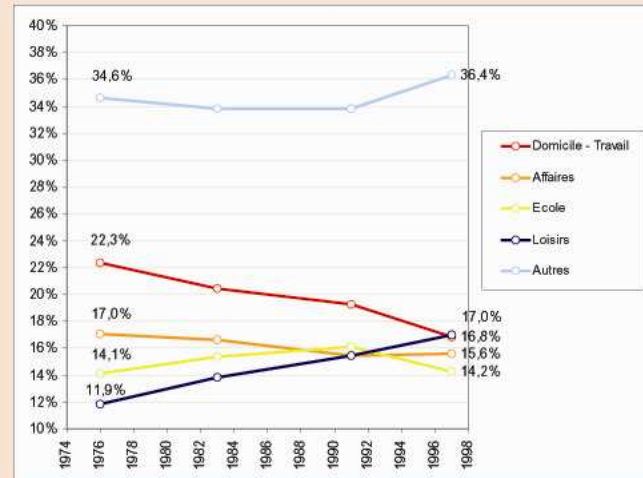
Il correspond aux différents besoins qui entraîne le déplacement.

Travail, retour au domicile, les loisirs, les démarches administratives, autres.

### LES MOTIFS DE DEPLACEMENT



#### Évolution de la structure de la demande de déplacements par motif



## Mode

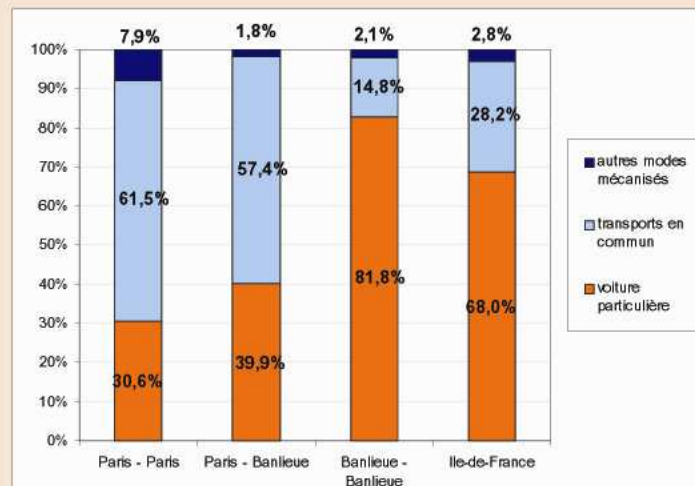
Il correspond au support que l'on utilise pour se déplacer.

La voiture, le transport en commun, le deux roues motorisé, le vélo, la marche à pieds.

### LA REPARTITION MODALE DES DEPLACEMENTS



#### Répartition modale des déplacements par type de liaison



# ENQUETE MENAGE

## Mode

Enquête	Année	Vélo	TCU	Autre TC	Deux roues motorisés	Voiture conducteur	Voiture passager	Autre mode	Total deux roues	Total TC	Total voiture	Total hors voiture
Lyon	1995	1%	18%	2%	1%	60%	17%	1%	2%	20%	77%	23%
Marseille	1976	1%	16%	2%	10%	48%	21%	2%	11%	18%	69%	31%
Marseille	1988	1%	15%	2%	3%	57%	19%	2%	4%	17%	77%	23%
Marseille	1997	1%	14%	2%	2%	61%	19%	1%	3%	16%	81%	19%
Metz	1992	2%	11%	2%	2%	62%	20%	2%	3%	13%	81%	19%
Mulhouse	1990	6%	12%	3%	2%	58%	18%	1%	7%	15%	76%	24%
Nancy	1976	3%	16%	3%	10%	50%	17%	2%	13%	19%	67%	33%
Nancy	1991	1%	11%	2%	2%	62%	20%	1%	3%	14%	82%	18%
Nantes	1980	8%	16%	3%	8%	47%	15%	1%	17%	19%	63%	37%
Nantes	1990	3%	16%	1%	3%	58%	18%	1%	6%	17%	76%	24%
Orléans	1976	11%	5%	4%	12%	48%	18%	2%	23%	9%	66%	34%
Paris	1976	3%	31%	3%	6%	42%	13%	2%	9%	34%	55%	45%
Paris	1983	2%	30%	2%	2%	47%	15%	2%	5%	32%	61%	39%
Paris	1991	1%	29%	2%	2%	50%	15%	1%	3%	30%	66%	34%
Paris	1998	2%	26%	2%	1%	51%	17%	1%	3%	28%	68%	32%
Perpignan	1984	3%	15%	2%	4%	55%	20%	1%	7%	17%	74%	26%
Reims	1987	2%	14%	1%	2%	59%	20%	2%	4%	15%	79%	21%
Reims	1996	1%	13%	1%	1%	62%	20%	1%	2%	15%	82%	18%
Rennes	1991	5%	15%	2%	2%	59%	18%	1%	6%	16%	77%	23%
<b>Rennes</b>	<b>2000</b>	<b>4%</b>	<b>12%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>	<b>62%</b>	<b>17%</b>	<b>1%</b>	<b>6%</b>	<b>14%</b>	<b>80%</b>	<b>20%</b>
Rouen	1996	1%	12%	1%	2%	63%	20%	1%	3%	13%	83%	17%
Saint Etienne	1991	1%	17%	3%	1%	58%	19%	1%	2%	19%	78%	22%
<b>Saint Etienne</b>	<b>2001</b>	<b>1%</b>	<b>10%</b>	<b>4%</b>	<b>1%</b>	<b>62%</b>	<b>20%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>14%</b>	<b>82%</b>	<b>18%</b>
Saint Nazaire	1996	5%	2%	5%	2%	62%	22%	1%	7%	7%	84%	16%
Strasbourg	1988	12%	9%	2%	3%	54%	18%	2%	15%	11%	73%	27%
Strasbourg	1997	9%	10%	2%	1%	59%	17%	1%	10%	12%	77%	23%
Toulon	1985	2%	17%	2%	6%	54%	18%	1%	8%	19%	72%	28%
Toulon	1998	1%	9%	1%	3%	62%	22%	1%	5%	11%	84%	16%
Toulouse	1978	6%	13%	1%	9%	52%	17%	1%	15%	15%	70%	30%
Toulouse	1990	4%	11%	2%	3%	61%	18%	1%	7%	13%	79%	21%
Toulouse	1996	4%	10%	2%	2%	63%	18%	1%	5%	13%	81%	19%
Troyes	1998	4%	6%	1%	3%	63%	21%	1%	7%	8%	85%	15%
Valence	1981	8%	8%	5%	7%	53%	17%	2%	15%	13%	70%	30%
Valence (Rovaltain)	1991	7%	3%	3%	3%	62%	20%	2%	9%	6%	82%	18%
Valenciennes	1985	10%	9%	3%	3%	48%	24%	3%	13%	12%	72%	28%
Valenciennes	1997	5%	7%	2%	2%	57%	25%	2%	7%	9%	82%	18%

Source CERTU

# LA GENERATION

A partir de données (socio économiques, enquête, paramètre) on va calculer le nombre total de tous les déplacements émis ou reçus par une zone.

L'objectif final après les 3 étapes (G, D, CM) est une matrice carrée dont la structure comporte trois parties distinctes.

La structure d'une demande se matérialise par des blocs matriciels :

- Intra
- Echange
- Transit.

*Les échanges sont orientés, de ou vers l'intérieur par rapport aux frontières du modèle*

		Destination	
		Interne	Externe
Origine	Interne	Intra	Echange
	Externe	Echange	Transit

## Normative

- Paramètre standard de la mobilité.

## Démarche modèle

- Méthode de Régression, approche agrégée.
- Catégorielle par classe de la population, approche désagrégée.

## Générateur et Classe

- Les générateurs sont de natures non homogène (CC, Gare, Aéroport,..)
- Différentes classes de déplacement.

# LA GÉNÉRATION

## Démarche normative

On fait l'hypothèse de comportement normé et on utilise des valeurs calibrées pour le calcul des émissions et des réceptions.

C'est la méthode la plus rudimentaire pour calculer les émissions et réceptions sur une zone.

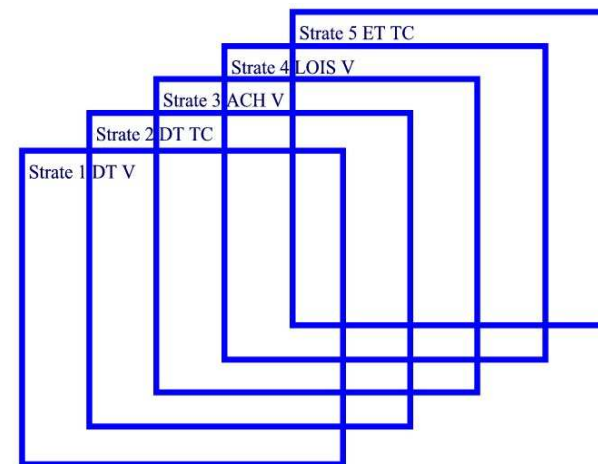
Le problème est dans la transposition des paramètres. Les comportements ne sont pas invariants

Ville	Année	Domicile Travail par actif	Domicile Autres motif par habitant	Secondaires par habitant
Nantes	1980	0,85	0,525	0,264
Lorient	1982	0,84	0,471	0,202
Valence	1981	0,82	0,65	0,45
Belfort	1982/83	0,79	0,64	0,47
Grenoble	1985	0,75	0,636	0,53
Lyon	1986	0,75	0,56	0,41

*Exemple de paramètre de mobilité sur segmentation en 3 motifs pour les déplacements mécanisés :*

*Domicile-Travail, Domicile Autres, Secondaires*

A partir d'une segmentation on calcule selon une formule linéaire le nombre de déplacements



# LA GENERATION

Exemple de formule de génération sur 3 motifs

Domicile-Travail	Emission	$\mu_i * p * d(1 - \lambda_i) * ACT_i$
	Attraction	$\mu_j * p * d[(1 - \lambda_j) * EMP_j - (\lambda_j * ACT_j)]$
Domicile-Autres	Emission	$v_i * r * POP_i$
	Attraction	$v_j * r * [POP_j + (\alpha * EMP3_j)]$
Secondaires	Emission	$k_i * [POP_i + (\alpha * EMP3_i)]$
	Attraction	$k_j * [POP_j + (\alpha * EMP3_j)]$

$\mu, v$  et  $k$  des coefficients correcteurs par zone

$p$  le taux de présence au travail

$d$  le nombre de déplacements domicile-travail par actif

$\lambda$  le % d'actif travaillant sur place

$r$  le nombre de déplacement domicile-autre

$\alpha$  le poids d'attraction relatif des emplois tertiaires

ACT, POP, EMP et EMP3 le nombre d'actifs, la population, le nombre d'emploi et le nombre d'emplois tertiaires

# LA GÉNÉRATION

## Démarche modèle

- Régression par mise en place d'un modèle de régression simple ou multiple sur des variables socio économiques de zones, c'est une approche agrégée.

On va créer un modèle linéaire de calcul des émissions et réceptions en fonction de variables explicatives zonales de différentes natures.

Le modèle sera de la forme :

$$T_i = \sum_k \alpha_k X_k + K + R$$

$T_i$  représente le niveau des émissions ou réceptions de la zone i

$X_k$  représente une variable, une combinaison, une transformation de variables zonales

$\alpha_k$  représente le coefficient de la variable k

K est une constante

R est le résidu

# LA GENERATION

## Démarche modèle

- ❑ Catégorielle par classification en catégories de la population et par utilisation de variables sur la mobilité de ces catégories, c'est une approche désagrégée.

On va créer un modèle de calcul des déplacements en fonction d'un ensemble de variables indépendantes du zonage.

L'unité de base d'information est le ménage.

Il est adapté au déplacement à partir du domicile.

On utilise par exemple :

- la taille du ménage
- le nombre d'actifs
- la motorisation
- le revenu

Le croisement des variables entraîne la création de catégories de façon combinatoire.

On doit disposer d'informations sur la mobilité relatives aux différentes catégories pour obtenir le nombre de déplacements par secteur.

# LA GÉNÉRATION

## Générateur Particulier

Pour un certain type de zone les démarches précédentes ne s'appliquent pas.

### Centre Commerciaux

par ratios

	Surface	Emploi m2	Jour Ouvré	Visiteur en voiture par m2			
				HPM Rec	HPM Emi	HPS Rec	HPS Emi
CC Beaulieu Nantes	24 140	0,025	0,52	0,026	0,019	0,039	0,05
Hypermarché Carrefour Aix	11 375	0,043	1,38	0,042	0,019	0,14	0,12
Bricolage Castorama Nantes	11 355	0,011	0,21	0,005	0,002	0,022	0,024

un modèle simple :  $T = SV * R * 1/P * 1/n * k$

T : trafic généré

SV : surface de vente en m2

R : rendement (€/m2)

P : Panier moyen par client

n : nombre de jours d'ouverture

k : coefficient de majoration pour sans achat

Modèle fondé sur les zones de chalandise

### Les Grands Hôpitaux

### Les Campus

### Les Aéroports

# LA GENERATION

## Classe de déplacement

- Vélo
- 2 Roues, PL et VL
- Les Motifs
- Les Touristes
- Les Taxis

## Les échanges, le Transit

- Enquêtes ménages donnent les flux sortants
- Enquête cordon

## Le Choix Horaire

- ❖ Par grille de répartition

# LA DISTRIBUTION

A partir de marge déterminée lors d'une étape de génération on va remplir les cases d'une matrice carrée.

On peut distinguer le cas où l'on possède une matrice de celui où l'on part de rien.

Modèle de Répartition Simplifiée

Modèle Gravitaire

Modèle d'Opportunité

Méthode des Facteurs de Croissance

Méthode de Fratar

# LA DISTRIBUTION

## Distribution Gravitaire

Rappelons que cette méthode est une analogie aux lois physiques de la gravitation.

$$T_{ij} = a_i b_j e^{-F_{ij} (D_{ij} - D_0)}$$

$T_{ij}$  est la valeur de la cellule de  $i$  ème colonne et  $j$  ième ligne

Sous contrainte  
somme des lignes A

$$A_i = \sum_{j=1}^n T_{ij}$$

somme des colonnes B

$$B_j = \sum_{i=1}^n T_{ij}$$

Elle nécessite pour la création d'une matrice  $n \times n$  :

- une matrice des distances ( $n \times n$ ) de zone à zone,
- une fonction de conductance  $F$  ou une série de facteurs,
- les émissions et attractions des  $n$  zones.

# LA DISTRIBUTION

## Méthode distribution gravitaire

$$T_{ij} = a_i b_j e^{-F_{ij} (D_{ij} - D_0)}$$

Sous contrainte

$$A_i = \sum_{j=1}^n T_{ij}$$

$$B_j = \sum_{i=1}^n T_{ij}$$

Avec :

- $D_{ij}$  : distance entre les zones i et j (vol d'oiseau, plus courte distance sur le réseau ...)
- $D_0$  : distance moyenne
- $T_{ij}$  : demande entre la zone i et la zone j exprimée par le modèle
- $A_i$  : marge émettrice de la demande
- $B_j$  : marge réceptrice de la demande
- $R_i$  : le cas échéant indice de regroupement de la zone i
- $a_i$  pondération émettrice de la demande à calculer
- $b_j$  pondération réceptrice de la demande à calculer
- $F_{ij}$  coefficient de distance qui peut dépendre de i et j suivant le genre de fonction proposée

Unique	$F_{ij} = \alpha$
Elémentaire	$F_{ij} = \alpha_i + \beta_j$
Symétrique	$F_{ij} = \alpha_i + \alpha_j$
Partitionnée	$F_{ij} = \alpha R_i + \beta R_j$
Groupée sym.	$F_{ij} = \alpha R_i + \alpha R_j$
Regroupée	$F_{ij} = \alpha R_i, R_j$

# LA GENERATION

## Modèle d'Opportunité

- Se base sur l'idée que l'origine et la destination d'un déplacement n'est pas explicitement liée à la longueur de celui-ci mais à l'opportunité de remplir les objectifs de la zone j plutôt que la zone k (en partant de la zone i)
- Selon cette approche, on range les zones par ordre décroissant de coût. Le trafic entre i et j est fonction du nombre d'opportunité dans la zone j et de la probabilité que cette opportunité satisfasse l'utilisateur.
- Chaque zone se remplit au fur et à mesure de leur éloignement.

*Exemple de matrice de distance en unité d'opportunité.*

*Soit une zone clientèle à la distance de 1 km, 1.2 km et 1.6 km de trois centres commerciaux de même surface pondérée à 1000u. les distances d'opportunité seront :*

De la zone client à	Centre A	Centre B	Centre C
distance sans intervalle	0 u	1000 u	2000 u
distance pour un intervalle=0,1km	500 u	1500 u	2500 u
distance pour un intervalle=0,5km	600 u	1400 u	2500 u
distance pour un intervalle= 1km	800 u	1300 u	2400 u

# LA GENERATION

## Méthode des facteurs de croissance

C'est un principe pour déterminer une matrice future en extrapolation de la matrice initiale.

- uniforme défini par une variable (population, parc automobile, PIB)
- sur les émissions ou sur les réceptions indifféremment

## Modèle de Fratar

Modèle projectif très simple que l'on applique à partir d'une matrice connue et sur de nouvelles marges.

En fait, le calcul cherche la matrice ayant des marges prédéterminées avec une structure analogue à la structure d'une matrice donnée.

$$T_{ij} = a_i \times b_j T_{ij}^0 \quad \text{Avec :} \quad A_i = \sum_j T_{ij}$$
$$B_j = \sum_i T_{ij}$$

Avec :

- $T_{ij}^0$  : Matrice initiale
- $T_{ij}$  : Demande entre les zones  $i$  et  $j$  exprimée par le modèle
- $A_i$  : Marge émettrice de la demande projetée
- $B_j$  : Marge réceptrice de la demande projetée
- $a_i$  pondération émettrice de la demande à calculer
- $b_j$  pondération réceptrice de la demande à calculer

# LE CHOIX MODAL

A partir d'une matrice à une dimension on va stratifier selon le mode de déplacement.

## Modèle agrégé

- ❖ Démarche Normative Grille de Partage Modal
- ❖ Modèle Logit Bimodal ou Multinomial
- ❖ Modèle Logit Hiérarchique
- ❖ Modèle Probit
- ❖ Modèle Prix/Temps

## Modèle désagrégé

- ❖ Modèle Logit
- ❖ Modèle Probit

# AFFECTATION

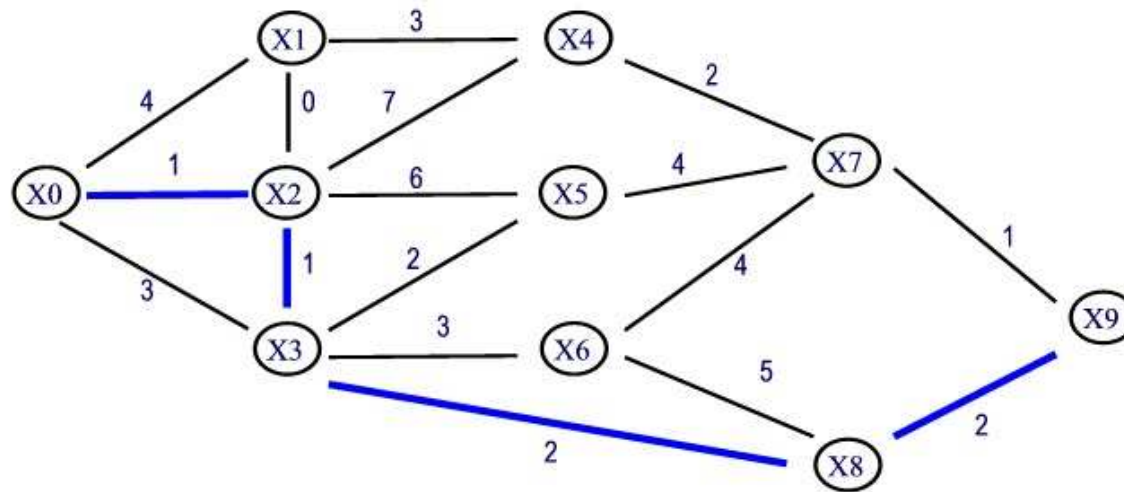
A partir d'une offre et d'une demande on calcule le chemin le plus court.

## Modèle offre

- ❖ Description en général non exhaustive.
- ❖ Représentation sous la forme d'un graphe.

X0, X1 etc.. sont des noeuds

les couples {X0, X1}, {X5, X7} sont des arcs



Soit le graphe valué suivant, dont le plus court chemin est X0-X2-X3-X8-X9

La recherche du plus court chemin sur un graphe se fait par un algorithme, on utilise DIKJSTRA

# AFFECTATION

## ❖ Valuation sous forme de temps généralisé sous AEL-DAVIS

$$tg = t0 + ((t(x) - t0) \times Cfi) + (Fd - [Ba]) \times d$$

$tg$  : temps généralisé.

$t0$  : temps de base à vide.

$t(x)$  : temps résultant du calcul par la loi

débit/vitesse.

$x$  : taux de saturation.

$Cfi$  : coefficient de fiabilité.

$Fd$  : facteur distance.

$[Ba]$  : bonus autoroutier.

$d$  : longueur du tronçon.

### Remarques :

- ✓ Le coefficient de fiabilité selon une hypothèse simpliste rend proportionnelle la perte de temps par rapport à la circulation.
- ✓ Le facteur distance permet de prendre en compte l'influence de la longueur du trajet.
- ✓ Le bonus autoroutier valorise l'utilisation des grands axes.

# AFFECTATION

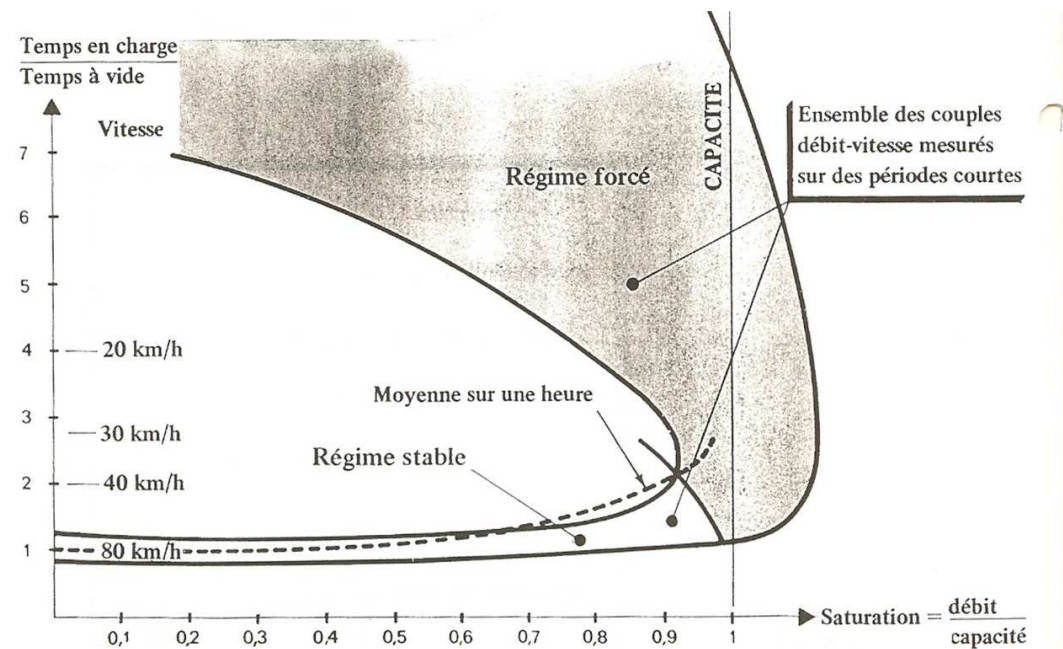
## Le Diagramme Fondamental

□ Il représente une situation de trafic homogène et stationnaire, ce qui signifie que débit ( $q$ ), vitesse ( $u$ ) et concentration ( $k$ ) varient peu autour de leur moyenne. A faible concentration de véhicules on observe une vitesse moyenne du flot élevée, appelée vitesse libre. Quand la concentration augmente, interaction plus importante entre les véhicules, la vitesse diminue.

□ Compte tenu de la relation entre les trois variables ( $q, u$  et  $k$ ) on peut choisir une relation qui lie deux des variables pour représenter une relation dans le plan.

□ Exemple de relation entre le débit  $q$  et la vitesse  $u$ .

On note sur cette présentation les deux parties du diagramme, avec une partie au bas qui montre le régime stable et une partie supérieure qui montre le régime forcé ou la densité des véhicules est très forte.



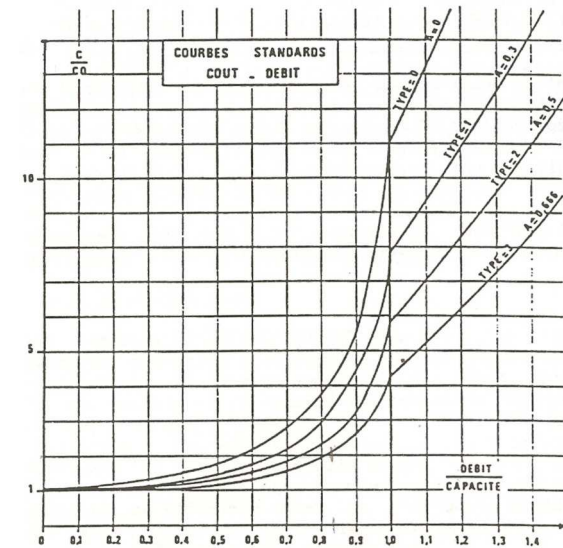
# AFFECTATION

## ❖ Les courbes Débit/Vitesse DAVIS

$$t(x) = t_0 \left( \frac{1.1 - CF \times x}{1.1 - x} \right) \quad \text{cas } x \leq 1$$

$$t(x) = t_0 \left( \frac{1.1 - CF}{0.1} \right) x^2 \quad \text{cas } x > 1$$

avec CF "coefficient de fonction" défini par classe  
Si  $x > 1$  prolongation quadratique



## ❖ La Classe de Route ou Type va permettre de hiérarchiser l'offre.

❖ Le modèle peut être multi classe, VL, PL, 2 Roues mécanisées ou vélo. Ce qui signifie que les réseaux d'offres sont propres à chaque classe.

# AFFECTATION

## Mode Transport Individuel

- ❖ Tout ou Rien
- ❖ Méthode Itérative
- ❖ Méthode Equilibre de Wardrop
- ❖ Méthode d'Abraham (logit arithmétique)
- ❖ Méthode Prix Temps
- ❖ Méthode Logit
- ❖ Méthode Probit

## Mode Transport Collectif

- ❖ Méthode des Lignes, des Horaires
- ❖ Affectation Multi chemin
- ❖ Tout ou Rien
- ❖ Stochastique

# AFFECTATION

## Méthode Equilibre de Wardrop

- ❑ Le premier principe de Wardrop dit que : entre chaque couple origine-destination les usagers s'affectent sur des itinéraires égaux en temps, pour tous les itinéraires effectivement utilisés. Ce Premier principe définit un optimum individuel.
  
- ❑ Le Second principe définit un optimum collectif. Il est fondé sur l'optimum social : le partage des usagers entre les itinéraires concurrents se fait de telle sorte que le coût social généralisé (pour l'ensemble du système) soit minimum.

Leur validité suppose :

- les usagers ont une connaissance parfaite des conditions sur le réseau.
- chaque usager minimise son temps de parcours.
- le temps de parcours d'un tronçon est le même pour tous.

Ces principes sont en fait bien adaptés au milieu urbain en période de pointe.

C'est ce principe qui fonde l'algorithme équilibre.

# AFFECTATION

## Méthode d'Abraham

- C'est une affectation fondée sur la méthode des potentiels (analogie électrique).
- Elle se pratique dans le cadre des études inter urbaines.
- Elle est implantée dans le programme ARIANE du SETRA.

## Méthode de Monte-Carlo

- C'est une affectation aléatoire sur les itinéraires.

# AFFECTATION

## Méthode Tribut (Prix Temps)

Dans la réalité les usagers ont un comportement face au péage qui est caractérisé par la notion économique de valeur du temps. Cette valeur est assimilée à une variable aléatoire dont la fonction de répartition retenue est en générale une loi log-normale.

Les deux paramètres importants de cette loi sont la moyenne et l'écart type.

Le principe de l'algorithme dans TRIBUT, est le suivant:

*Si l'on connaît deux chemins entre une origine et une destination, un avec péage et l'autre sans péage, et d'autre part leurs coûts.*

*La règle consiste à affecter un pourcentage des gens sur l'itinéraire à péage et le pourcentage complémentaire sur l'itinéraire sans péage, pour un scénario.*

*On utilise pour cela, le résultat du rapport, entre le coût du péage et le gain de temps.*

*Ce résultat définit une valeur du temps critique.*

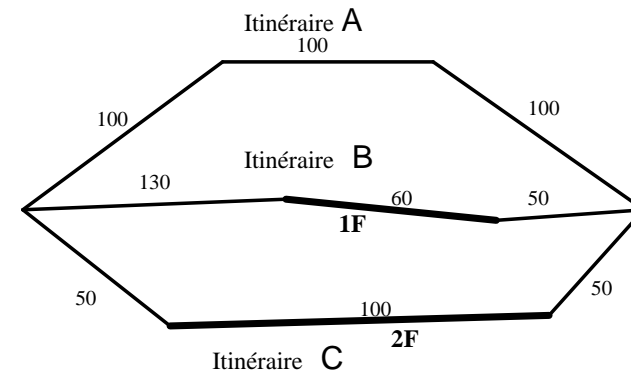
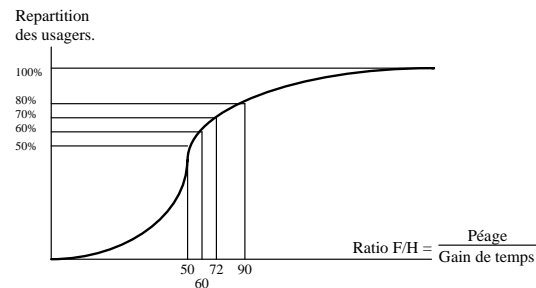
*Cette valeur du temps critique détermine la valeur frontière du pourcentage, lue sur la fonction de répartition.*

# AFFECTATION

## Méthode Tribut Exemple

Soit le réseau comportant 2 itinéraires à péages B et C et 1 itinéraire gratuit A.

Soit la fonction de répartition de moyenne 50F/H et d'écart-type 0.7. Ce qui donne un équivalent temps du péage 72"/F.



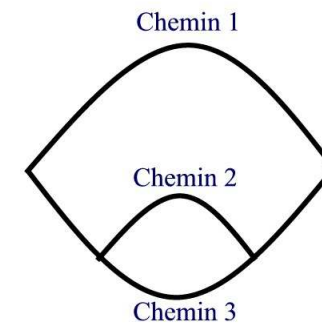
Itinéraire	Temps	Péage	Coût péage	Coût total
<b>A</b>	$100+100+100=300$	0F	0	<b>300</b>
<b>B</b>	$130+60+50=240$	1F	72	$240+72=312$
<b>C</b>	$50+100+50=200$	2F	144	$200+144=344$

Modèle	Concurrence	Péage/GainTemps	Ratio F/H	% non péage	% péage
Plus-Equilibre	<b>A B</b>	1F/1'	60F/H	60%	40%
Plus-Equilibre	<b>A C</b>	2F/1'40"	72F/H	70%	30%
Tribut	<b>A B</b>	1F/1'	60F/H	60%	20%
	<b>B C</b>	1F/40"	90F/H		20%

# AFFECTATION

## Méthode Logit

- ❑ Les automobilistes se répartissent sur les différents chemins possibles proportionnellement à leur probabilité d'utilisation.
- ❑ La méthode prend en compte la charge du réseau.
- ❑ Elle introduit un caractère aléatoire dans l'affectation et permet d'affecter le trafic d'un couple Origine – Destination sur plusieurs chemins concurrents.
- ❑ Limites : La méthode suppose que les itinéraires sont indépendants et distingue difficilement les chemins principaux des sous-chemins. Ainsi on aboutit à des affectations paradoxales. Sur le graphe ci-contre avec 3 itinéraires de même coût. On affecte  $1/3$ ,  $1/3$  et  $1/3$ ; le bon sens imagine  $1/2$  et  $1/4$  et  $1/4$



## Méthode Probit

- ❑ La méthode suppose que les itinéraires sont dépendants.
- ❑ On lève le paradoxe précédent.

# AFFECTATION MACROSCOPIQUE DYNAMIQUE

## Le problème

Les modèles de prévision de trafic disponibles pour étudier la circulation sur les grandes aires métropolitaines sont, pour la plupart, inadaptés dès que l'on s'intéresse aux phénomènes de congestion et à leur évolution.

On sait faire des modèles dynamiques pour prévoir l'évolution du trafic sur des aires très limitées et avec une demande de trafic parfaitement fixée en volume et en itinéraires.

A contrario, les modèles adaptant la demande de déplacement à l'offre, à la fois en volume et en itinéraire, utilisent des méthodes d'affectation statique et sont, de ce fait, inadaptés pour étudier l'évolution des phénomènes de congestion.

## L'objectif

On va chercher à déduire une répartition horaire de la demande beaucoup plus pertinente et susceptible, pour les projections dans le futur, de tenir compte de l'effet des modifications de l'offre.

## La démarche

On va combiner un modèle de choix horaire à une affectation macroscopique dynamique horaire.

# CALAGE

Le calage s'exerce à chaque niveau ou étapes des travaux.

## Offre

Dans ce cadre il s'agit surtout d'adapter les attributs.

## Demande

C'est la partie la plus complexe, ou il sera surtout question de travailler sur les 3 étapes.

## Démarche

La méthodologie de calage n'est pas unique et universelle.

Elle est une pratique récurrente complexe.

## Critère

La régression des comptages à l'affectation.

Les statistiques macroscopiques

## Méthode

Le calage sur comptage

Le calage sur enquête

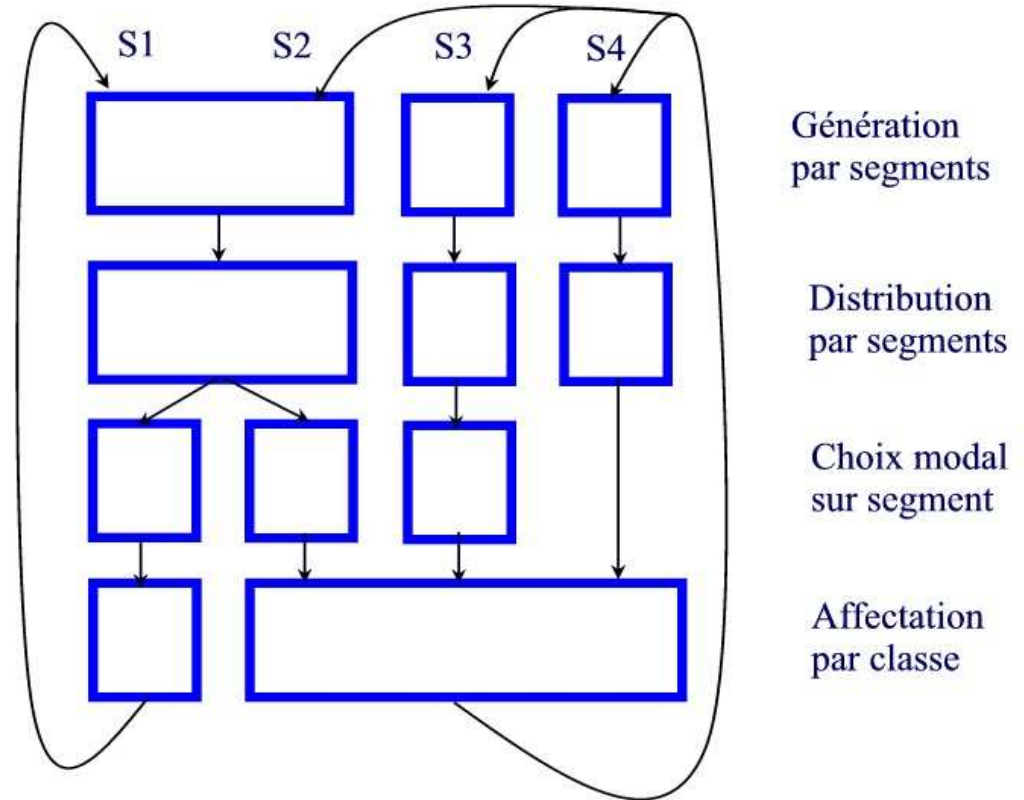
# CALAGE

## Démarche globale de calage

Il se déroule dans le cadre d'un processus général itératif.

Exemple :

La démarche de calage est la succession de diverses étapes



## La Régression

Elle mesure l'adéquation des comptages et de l'affectation.

Elle est le calcul d'une régression simple  $y=f(x)$

Soit un couple de données ( $y$ =comptage,  $x$ =flux) , la représentation géométrique sur un plan aboutit à un nuage de points.

Le but de la régression linéaire simple est de définir la droite qui s'ajuste le mieux possible au nuage de points. Le critère que l'on utilise est celui des moindres carrés. Ceci revient à minimiser le carré de la distance projetée sur la droite de régression.

Si les échantillons X et Y sont gaussiens on a alors

$$\beta = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\text{var}(X)} \quad \text{et} \quad \alpha = \bar{y} - \beta \bar{x}$$

L'équation d'analyse de la variance de la régression

(Somme des carrés) = (Somme des carrés) + (Somme des carrés)  
totale                      résiduelle                      expliquée

$$\sum_i (y_i - \bar{y})^2 = \sum_i (y_i - y_i^*)^2 + \sum_i (y_i^* - \bar{y})^2$$

permet de mesurer la qualité de l'approximation par le coefficient R2, qui est le rapport

$$R^2 = \frac{\text{Variance expliquée}}{\text{Variance totale}}$$

