

*Rapport d'études*

# Revue des modèles nationaux de transport multimodal de voyageurs

Avril 2015



## Rédacteurs

Thomas ANSELME - Dter Normandie-Centre / DITM / MoD

Téléphone : 02 35 68 88 78 – mél : [thomas.anselme@cerema.fr](mailto:thomas.anselme@cerema.fr)

Michaël SAVARY- Dter Normandie-Centre / DITM / MoD

Téléphone : 02 35 68 82 46 – mél : [michael.savary@cerema.fr](mailto:michael.savary@cerema.fr)

## Référents DTecITM

Matthieu KERMEL - DTecITM / CSTM / DEOST

Téléphone : 01 60 52 32 44 – mél : [matthieu.kermel@cerema.fr](mailto:matthieu.kermel@cerema.fr)

Etienne HOMBOURGER - DTecITM / CSTM / DEOST

Téléphone : 01 60 52 32 26 – mél : [etienne.hombourger@cerema.fr](mailto:etienne.hombourger@cerema.fr)

# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>1 - Modèles à 4 étapes classiques : principe de fonctionnement, et principales limites identifiées.....</b>	<b>4</b>
1.1 - Principe de fonctionnement.....	4
1.1.1 - <i>Génération</i> .....	4
1.1.2 - <i>Distribution</i> .....	4
1.1.3 - <i>Choix du mode</i> .....	5
1.1.4 - <i>Affectation</i> .....	6
1.2 - Principales limites identifiées pour l'application de ces méthodes à des modèles nationaux.....	7
1.2.1 - <i>Une approche par déplacements trop simplificatrice</i> .....	7
1.2.2 - <i>Une logique gravitaire potentiellement inadaptée</i> .....	7
1.2.3 - <i>Une prise en compte du choix modal nécessitant une approche désagrégée</i> .....	8
1.2.4 - <i>Des problèmes de cohérence entre les étapes de choix modal et de distribution</i> .....	8
<b>2 - Revue des modèles nationaux.....</b>	<b>9</b>
2.1 - Modèles retenus.....	9
2.2 - Caractéristiques générales .....	10
2.2.1 - <i>Modes de transport</i> .....	12
2.2.2 - <i>Motifs de déplacements</i> .....	13
2.2.3 - <i>Zonages</i> .....	13
2.3 - Déplacements, boucles, activités.....	13
2.3.1 - <i>Boucles de déplacements</i> .....	14
2.3.2 - <i>Modèles basés sur les activités</i> .....	15
2.4 - Génération .....	15
2.5 - Choix de la destination et du mode.....	16
2.6 - Choix de l'heure de départ .....	19
2.7 - Affectation .....	20
<b>Conclusion .....</b>	<b>22</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>23</b>

Page laissée blanche intentionnellement

## Introduction

Dans le cadre de son programme d'action 2014, le PCI MOD<sup>2</sup> (Pôle de Compétences et d'Innovation « Méthodes, Outils et Démarches, pour la Modélisation et l'Organisation des Déplacements ») a été chargé de réaliser un état des lieux sur les modèles nationaux étrangers de transport de voyageurs.

En effet, dans le contexte de la création du Cerema, la question de l'opportunité de disposer d'un outil de prévisions des trafics à l'échelle nationale est soulevée. Celui-ci permettrait d'alimenter les études locales à l'échelle régionale ou interrégionale. Avant de se lancer dans une telle démarche, il est apparu nécessaire de réaliser un état de l'art sur les modèles existants à cette échelle géographique.

Il s'agit d'un travail de synthèse bibliographique, à partir de la documentation récupérée sur différents modèles nationaux existants en Europe, aux États Unis, et en Asie. Ce document vient par ailleurs compléter un exercice équivalent sur les modèles de transport de marchandises, réalisé en 2013 par le Sétra, devenu la Direction Technique Infrastructures de Transport et Matériaux du Cerema. Ce travail s'intéresse donc uniquement aux modèles nationaux de transport de voyageurs : le traitement des interactions transport / urbanisme (modèles LUTI) ne sera pas abordé ici, c'est-à-dire que si certains modèles abordent cette question, on ne s'intéressera qu'au volet transport de ceux-ci.

La plupart des modèles passés en revue, y compris les plus avancés, étant conçus comme des améliorations du modèle à 4 étapes *classique*. Il est apparu naturel de débiter ce document par un rappel du principe de fonctionnement des modèles à 4 étapes, et par l'identification des principales limites de ces modèles dans le cadre de leur utilisation pour des modèles nationaux.

Ce n'est qu'à l'issue de cette partie introductive que débutera l'analyse des modèles.

Les méthodes avancées mises en œuvre en Europe et ailleurs seront alors passées en revue, en structurant l'analyse étape par étape, en suivant l'architecture générale de ces modèles.

# 1 - Modèles à 4 étapes classiques : principe de fonctionnement, et principales limites identifiées

## 1.1 - Principe de fonctionnement

Dans un modèle à 4 étapes, un individu doit décider de son déplacement en quatre questions :

- faut-il effectuer le déplacement (génération) ?
- vers quelle destination (distribution) ?
- par quel mode de transport (choix du mode) ?
- par quel itinéraire (affectation) ?

Au départ, le secteur d'étude doit être divisé en  $n$  zones. Toutes les données socio-économiques doivent être agrégées selon ce découpage.

Nous précisons ici qu'un déplacement s'entend comme se transporter d'un lieu origine vers un lieu de destination et pour un motif donné (exemple : Domicile-Travail).

Dans ces modèles, il sera nécessaire de s'interroger sur la période à utiliser pour réaliser ces 4 étapes (heures de pointe, heures creuses, journée,...).

### 1.1.1 - Génération

La première étape concerne le nombre de déplacements émis et attirés par une zone. Le nombre de déplacements entrant ou sortant d'une zone est fonction des caractéristiques d'occupation du sol de cette zone : la population, l'emploi, les écoles, etc. Deux méthodes sont couramment utilisées pour estimer cette génération :

- la régression linéaire : cette approche consiste à définir, à l'échelle zonale, une relation entre le nombre de déplacements (éventuellement, par motif), qui est la variable à expliquer, et une ou plusieurs variables explicatives (démographiques, socio-économiques, caractérisant l'utilisation du sol, etc.) ;
- la classification croisée : cette approche autorise à partitionner l'échantillon de ménages ou de personnes en un certain nombre de catégories à partir d'une ou plusieurs variables socio-économiques, l'idée étant de choisir les catégories qui expliquent le mieux la variance des données. Le modèle consiste alors à calculer le nombre de déplacements réalisés en moyenne par les ménages ou les personnes de chaque segment de population, permettant ainsi d'obtenir des taux de mobilité par segment de marché. En général, il faut traiter quelques générateurs spécifiques (ex : aéroports) sur une base séparée.

En sortie de cette étape, on obtient deux vecteurs  $E$  et  $A$  des émissions et attractions en  $n$  zones.

### 1.1.2 - Distribution

L'étape suivante consiste à lier les émissions et les attractions, c'est-à-dire déterminer comment les déplacements émis par une zone sont distribués parmi toutes les zones.

Le modèle le plus commun est le modèle gravitaire.

Dans ce modèle, le nombre de déplacements  $T_{ij}$  entre une zone  $i$  et une zone  $j$  est proportionnel à l'émission de la zone  $i$ ,  $E_i$ , à l'attraction de la zone  $j$ ,  $A_j$ , et à une fonction (généralement une exponentielle négative ou une puissance inverse) qui dépend de l'impédance entre les deux zones  $i$  et  $j$  :

$$T_{ij} = E_i \times A_j \times F(\text{impédance } ij)$$

L'application d'un algorithme de type Fratar [1] permet ensuite de respecter les contraintes aux marges de la matrice ainsi obtenue.

L'impédance entre deux zones peut correspondre à :

- la distance : c'est généralement le cas dans les modèles les plus anciens. L'utilisation de la distance est une très forte approximation car celle-ci ne tient pas vraiment compte de la performance du réseau de transport ;
- le temps de parcours en voiture particulière (VP) : cette impédance ignore alors l'influence potentielle d'un système de transport en commun (TC) performant, mais donne des résultats déjà nettement meilleurs qu'en utilisant la distance ;
- une impédance composite, qui reflète le niveau de service de l'ensemble des modes de transport. Cette impédance composite peut être basée sur le temps de parcours, ou, pour les modèles plus avancés, sur l'utilité *tous modes* (logsum) issue du choix modal.

Le résultat de cette étape est une matrice origine-destination de déplacements tous modes.

### 1.1.3 - Choix du mode

A cette étape, on calcule les pourcentages de déplacements effectués en transport en commun et en voiture pour chaque paire  $i$ - $j$ . De nombreux modèles mathématiques ont été développés pour cette étape.

La plupart du temps, on oppose l'**approche agrégée**, où l'on raisonne à partir d'un individu *moyen*, à l'**approche désagrégée**, où cette fois chaque individu est pris en considération séparément par l'intermédiaire de ses propres caractéristiques.

Parmi les **modèles agrégés** les plus utilisés, on peut citer par exemple les grilles et les courbes de partage modal, ainsi que le modèle prix-temps. L'avantage de ces modèles agrégés est leur simplicité d'estimation et d'utilisation, mais leur capacité à reproduire les comportements individuels est généralement inférieure à celle des modèles désagrégés. On retrouve aussi souvent classés dans cette famille des modèles agrégés, les modèles *logit multinomiaux* : les paramètres de ce modèle à choix discrets ne dépendent alors que des caractéristiques de l'offre de transport.

Il est possible de réaliser des modèles agrégés à partir de données agrégées ou désagrégées. La méthode d'estimation la plus couramment utilisée pour les modèles agrégés est la régression linéaire.

Les modèles logit multinomiaux sont les modèles désagrégés les plus utilisés. Dans une approche désagrégée, les paramètres de ce modèle (toujours à choix discrets) dépendent des caractéristiques de l'offre mais également des caractéristiques de l'individu considéré.

Les modèles désagrégés sont nécessairement estimés à partir de données désagrégées. La méthode du maximum de vraisemblance est utilisée pour réaliser les estimations selon de tels modèles.

Dans la pratique récente, les modèles désagrégés qui sont régulièrement utilisés (principalement des modèles de type logit multinomial ou emboîté) : le principe de base de cette théorie, décrite dans l'ouvrage de Ben Akiva & Lerman [2] consiste à évaluer l'utilité pour l'individu  $i$  de l'alternative  $m$  en

fonction de ses caractéristiques (par exemple le temps de parcours) et des préférences propres de l'individu (par ex. spécifiques à sa catégorie socio-professionnelle). La probabilité que l'individu  $i$  choisisse l'alternative  $m$  est supposée être une fonction des utilités ( $U_{i,m}$ ) de chacune des alternatives disponibles, dont les paramètres sont estimés sur des données individuelles (préférences révélées ou déclarées) afin de reproduire les comportements observés. Par exemple, pour le modèle logit multinomial (le plus courant), la formulation de cette probabilité est la suivante :

$$P_m(i) = \frac{e^{\mu \times U_{i,m}}}{\sum e^{\mu \times U_{i,n}}}$$

Où  $\mu$  est un paramètre appelé le facteur d'échelle du modèle.

Dans les modèles,  $\mu$  prend une valeur conventionnelle souvent égale à 1. Il dépend de la variance des termes d'erreur au sein de la population étudiée : il en résulte que les paramètres et constantes d'alternatives de différents modèles de choix modal ne sont pas comparables directement mais uniquement au facteur d'échelle près.

Enfin, une approche intermédiaire consiste à ne pas raisonner au niveau de l'individu mais par groupes d'individus homogènes, si bien que la frontière entre ces deux familles de modèles est assez mince.

Le résultat de cette étape est une matrice origine-destination de déplacements pour chaque mode.

#### 1.1.4 - Affectation

La dernière étape du processus traite du choix d'itinéraire et de l'affectation des matrices de déplacements sur les réseaux. Les techniques font appel à celles de la recherche opérationnelle (algorithme du plus court chemin, optimisation).

En ce qui concerne l'affectation pour les véhicules particuliers, il existe de nombreux algorithmes couramment utilisés en pratique. Plusieurs critères sont généralement respectés :

- l'affectation s'effectue à contrainte de capacité permettant d'atteindre un équilibre de Wardrop par une procédure itérative ;
- l'algorithme d'affectation intègre des mécanismes bi-critères prix-temps, que ce soit par une affectation multi-classes ou par une affectation tenant compte d'une distribution lognormale de la valeur du temps.

Pour le réseau de transport en commun (ferroviaire, aérien), la détermination du niveau de service passe nécessairement par un calcul d'itinéraire multi-chemins. Là encore plusieurs algorithmes coexistent dans la pratique (tout ou rien, stratégies optimales, etc.), sachant qu'un choix entre une affectation en horaire ou en fréquence doit également être effectué.

On obtient, à la fin du calcul d'affectation, des réseaux chargés avec pour chaque arc le volume de véhicules ou de voyageurs, la vitesse et le temps de parcours.

Précisons enfin que la pratique courante de ces modèles à 4 étapes nécessite théoriquement la mise en œuvre d'un bouclage du modèle, entre l'affectation et les étapes de distribution (si l'impédance varie selon le niveau de service) et/ou de choix modal.



## 1.2 - Principales limites identifiées pour l'application de ces méthodes à des modèles nationaux

### 1.2.1 - Une approche par déplacements trop simplificatrice

Un déplacement s'insère généralement dans une chaîne ou une boucle de déplacements (considérant le domicile ou le travail comme point de départ/arrivée de la boucle). Or, les modèles classiques proposent une simple approche par déplacement, autrement dit les liens entre les déplacements ne sont pas modélisés, et ainsi le point de départ et/ou d'arrivée d'un déplacement est systématiquement le domicile et/ou le travail.

Cela a plusieurs conséquences :

- en premier lieu, pour la génération, il est nécessaire de se baser non pas uniquement sur l'individu mais aussi sur d'autres aspects, plus généraux, comme les emplois par exemple. Or il est préférable de travailler à partir de l'individu uniquement de façon à conserver une cohérence du modèle (symétrie des déplacements aller-retour par exemple), notamment en prospective ;
- par ailleurs, les déplacements secondaires (non liés au domicile) sont très mal reproduits car il est impossible de conserver la trace des individus dans une approche par déplacements par exemple, on perd la possibilité d'utiliser des variables socio-économiques liées à la zone de résidence de l'individu ou à l'individu lui-même ;
- enfin, on néglige les effets liés à l'hétérogénéité de l'offre : si l'offre de transport est peu homogène sur la journée, le choix de la destination et du mode de transport sont clairement influencés par les autres déplacements de la boucle par exemple : un voyageur n'effectue pas un aller en train si le retour en train n'est pas possible aux horaires où il prévoit de rentrer.

### 1.2.2 - Une logique gravitaire potentiellement inadaptée

Il est important de souligner qu'à l'échelle nationale, les déplacements de voyageurs sont hétérogènes : on retrouve à la fois des déplacements quotidiens de courte et moyenne distance, historiquement liés au motif travail mais avec des motifs qui tendent à se diversifier. Et d'autre part des flux de moyenne et longue distance, moins fréquents, et d'avantage liés aux motifs professionnels ou personnels. Mais fréquences, motifs et longueurs de déplacement ne sont pas forcément corrélés : il existe des déplacements personnels fréquents et courts (par ex. les loisirs), mais aussi des déplacements Domicile - Travail longs et rares (lorsque le lieu de travail est très éloigné du domicile principal et que la personne dispose d'un domicile secondaire proche de son lieu de travail), etc.

Par ailleurs, à l'échelle nationale, il est possible que la spécialisation des espaces induise une forte hétérogénéité des comportements de déplacements : par exemple, un emploi à La Défense générera-t-il autant de déplacements (et de même longueur) que le même emploi à Rouen ? On peut penser que non, en particulier pour les motifs professionnels. Si à l'échelle urbaine, ces déplacements spécifiques sont minoritaires par rapport aux déplacements du quotidien *classiques* et plus facilement prévisibles, ce n'est plus forcément le cas à l'échelle nationale. Il existe également des facteurs liés à l'émergence de nouvelles technologies de communication (visioconférence dans le milieu professionnel voire même pour les relations familiales), ainsi que des éléments liés à la spécialisation du marché du travail, qui peuvent également intervenir et rendre la logique gravitaire inadaptée, et générer des problèmes d'agrégation des individus. Remarquons toutefois que pour corriger les résultats de la distribution gravitaire, l'approche classique nécessite souvent l'utilisation de coefficients de correction, par exemple la méthode des coefficients K, importants à l'intérieur même de la distribution, ou la correction des résultats de la distribution *a posteriori* par la méthode dite du pivot. Ces méthodes de correction ne sont cependant qu'une parade pour corriger les problèmes de validité de la méthode de distribution choisie, et ne permettent donc pas de garantir un comportement adapté du modèle lors de son utilisation.

### 1.2.3 - Une prise en compte du choix modal nécessitant une approche désagrégée

De façon évidente, le choix du mode de transport pour un déplacement est fortement dépendant de la disponibilité d'un véhicule particulier pour ce déplacement. En milieu urbain, cette disponibilité dépend des caractéristiques socio-économiques de l'individu et de son ménage mais aussi de la qualité de l'offre de transports collectifs pour ses déplacements du quotidien, si bien qu'une modélisation du choix modal par une approche non segmentée selon la disponibilité du véhicule est parfois tolérée car elle intègre implicitement une partie des éléments d'arbitrage du choix de motorisation. En revanche, en milieu interurbain, donc pour des déplacements généralement moins fréquents, il n'est plus possible d'effectuer cette simplification car le choix de motorisation a déjà été effectué, le plus souvent complètement indépendamment du déplacement considéré.

### 1.2.4 - Des problèmes de cohérence entre les étapes de choix modal et de distribution

Les problèmes de cohérence ont été mis en évidence plusieurs fois dans la littérature [3] ou lors d'utilisations opérationnelles en France. Que le modèle soit bouclé ou non (rétroaction entre l'étape d'affectation et les étapes précédentes), rien ne garantit en effet que les résultats des différentes étapes du modèle soient cohérents entre eux.

Dans le cas où la distribution est basée sur une impédance qui sera sensible au développement de l'offre de transport (temps de parcours, coût généralisé, utilité etc.), il est possible qu'un développement de l'offre engendre un report modal insuffisant par rapport à la croissance des trafics tous modes résultants de l'étape de distribution. Ceci implique que le développement de l'offre pour un mode donné engendrera une croissance des flux sur ce mode, mais aussi sur les autres modes de transport qui n'ont pourtant pas vu leur offre s'améliorer. Nous pouvons citer l'exemple d'un modèle route/fer dans lequel l'impédance est basée sur le logsum d'une utilité *tous modes*. Le développement de l'offre ferroviaire peut engendrer une croissance des flux qui ne peut pas être absorbée complètement par le réseau fer, ce qui engendre de fait une croissance des trafics routiers.

Il s'agit donc d'un problème majeur qui peut intervenir dès lors que l'on étudie des projets très structurants pour le territoire.

## 2 - Revue des modèles nationaux

### 2.1 - Modèles retenus

Cette synthèse bibliographique est fondée sur les documents descriptifs des modèles nationaux (ou des synthèses bibliographiques de modèles) disponibles en libre accès sur internet et rappelées dans la bibliographie de ce rapport ([4] à [27]). Les modèles d'États Européens identifiés sont :

- le modèle français MODEV ;
- le modèle danois PETRA ;
- le modèle hollandais LMS ;
- le modèle allemand VALIDATE ;
- le modèle de la Grande-Bretagne NTM ;
- le modèle italien SISD ;
- le modèle suédois SAMPERS ;
- le modèle suisse ;
- le modèle norvégien.

Par ailleurs, il a été choisi de réaliser un état de l'art aussi large que possible, c'est la raison pour laquelle les modèles passés en revue dépassent les frontières de l'Europe. Ainsi, même s'il ne s'agit pas de modèles nationaux à proprement parler, des modèles de certains états américains ont également été retenus pour l'analyse. En effet les états américains ont des tailles et des populations qui sont du même ordre de grandeur que des petits états européens (voire plus peuplés, comme pour la Californie par exemple), et donc des problématiques de transport assez similaires. De plus, ces modèles sont particulièrement avancés en termes de méthodologie. Nous avons étudié les modèles suivants :

- le modèle de Californie HSR ;
- le modèle de l'Indiana ;
- le modèle du Michigan ;
- le modèle du New Hampshire NHSTMS ;
- le modèle de l'Ohio ;
- le modèle de l'Oregon TLUMIP ;
- le modèle de Virginie ;
- le modèle du Maryland MSTM.

Enfin, le modèle national Japonais a également été intégré dans l'analyse.

## 2.2 - Caractéristiques générales

Le tableau suivant recense les principales caractéristiques de ces 18 modèles :

Modèle	Période de construction (ou de dernière version) du modèle*	Mode de transport**	Motif de déplacements	Nombre de zones
France	2011	voiture, fer (grandes lignes, TGV), avion	Professionnel, Vacances, Autres personnels	342 internes, 230 externes
Danemark	1998	marche, vélo, voiture conducteur, voiture passager, bus, train	domicile, travail, courses, loisirs	3010
Pays-Bas	2009	voiture conducteur, voiture passager, train, transports en commun urbains, vélo, marche	domicile - travail, autres - travail, études, achats, loisirs, autres	1308
Allemagne	2005	modes individuels motorisés, transport public, combinaison vélo et marche	domicile, travail, affaires professionnelles, achats, autres	7000
Grande-Bretagne	2006	voiture conducteur, voiture passager, train, bus, modes lents (vélo et marche)	motifs liés au domicile : travail, affaires professionnelles, études, affaires personnelles, vacances motifs non liés au domicile : affaires professionnelles, autres	9998
Italie	1996	voiture, bus, avion, train interrégional, train interurbain, train de nuit	domicile - travail, affaires professionnelles, université, loisirs et tourisme, autres	267 internes, 62 externes
Suède	1998	voiture, bus, train normal, train à grande vitesse	déplacements privés et déplacements professionnels	670
Suisse	2000	modes individuels motorisés, transport public, modes lents	domicile, travail, études, affaires professionnelles, achats, loisirs	2949 internes 165 externes
Norvège	1990	courte distance : voiture conducteur, voiture passager, transports publics, combinaison marché à pied et vélo longue distance : voiture, bus, train, bateau, avion	courte distance : domicile - travail, domicile - affaires professionnelles, travail - affaires professionnelles, études, achats et services, visites, autres longue distance : travail / études, affaires professionnelles, visites, loisirs, services et autres	454

Modèle	Période de construction (ou de dernière version) du modèle*	Mode de transport**	Motif de déplacements	Nombre de zones
Californie	2006	courte distance : voiture solo, voiture à plusieurs (différencié 2 occupants, 3 occupants et +), MAP + bus, MAP + train léger, MAP + train lourd, VP + bus, VP + train léger, VP + train lourd, vélo, MAP, bus scolaires  longue distance : voiture solo, voiture à plusieurs (différencié 2 occupants, 3 occupants et +), train, avion, + pour chacun, 6 modes d'accès : voiture (qui se gare), voiture (location), voiture (dépose), taxi, transports en commun urbains, marche	courte distance : travail, études, autres  longue distance : domicile - travail, affaires professionnelles, loisirs, autres	4667
Indiana	2004	voiture, transports publics	domicile - travail, domicile - autres, affaires professionnelles, autres déplacements secondaires, loisirs	4720
Michigan	milieu des années 1990	voiture uniquement	domicile - travail, domicile - affaires personnelles, domicile - autres, autres - travail, autres déplacements secondaires	2307 internes et 85 externes
New Hampshire	1995	modes alternatifs à la voiture, voiture solo, voiture à plusieurs, voiture + transports publics	travail, études, achats, loisirs, accompagnement, autres	500
Ohio	milieu des années 1990	voiture, avion, marche + transports publics, voiture + transports publics	courtes distances : domicile, travail (sans retour travail), travail (avec retour travail), études, achats, loisirs, autres longues distances : visites, travail, autres	5103
Oregon	2006	voiture, transports publics	courtes distances : domicile - travail, travail - autres, loisirs, domicile - autres, déplacements secondaires longues distances : visites, travail non régulier, autres	2950
Virginie	début des années 2000	voiture, train, bus, autres	domicile - travail, domicile - autres, déplacements secondaires	522 macro-zones et 1059 micro-zones
Maryland	2010	voiture solo, voiture à plusieurs (différencié 2 occupants, 3 occupants et +), MAP + bus, MAP + bus express, MAP + train, MAP + train navette, VP + bus, VP + bus express, VP + train, VP + train navette	domicile - travail, affaires professionnelles, études, domicile - achats, domicile-autres	1607
Japon	2003	avion, train (conventionnel, et grande vitesse), bateau, bus, voiture	affaires professionnelles, autres	147

\*remarque : de nombreux modèles, même anciens, sont mis à jour "au fil de l'eau". Une date de « dernière version » ne peut donc pas toujours être indiquée.

\*\* abréviations : VP = voiture particulière // MAP = marche

On voit déjà apparaître de réelles différences entre ces modèles sur le nombre de modes et de motifs pris en compte, et sur le nombre de zones.

Il semble exister deux types de modèles nationaux au niveau de la nature des déplacements traités : ceux qui ne se consacrent qu'aux déplacements de longue distance ou aux déplacements motorisés (et qui n'intègrent donc pas les modes réservés à la courte distance), et ceux qui traitent l'intégralité des déplacements. La séparation entre les déplacements de longue et courte distance est propre à chaque modèle mais est en général située autour d'un seuil de 100 km.

Type de déplacements traités	
déplacements longs ou motorisés uniquement	9
tous déplacements	9

A noter que parmi les modèles cherchant à traiter l'ensemble des déplacements, certains sont composés de deux modules différents : un pour la longue distance et un pour la courte distance.

NB : parmi ces modèles, certains possèdent un module courte distance *simplifié* qui n'a pas été retenu pour cette analyse, car nous nous intéressons ici uniquement aux modèles nationaux, où les distances d'études sont grandes. Dans le tableau ci-dessus, ils ont donc été indiqués comme traitant des déplacements longs uniquement. Dans la suite du document, pour ce qui concerne les modèles qui distinguent les courtes et les longues distances, seuls les modules longues distances rentreront dans le périmètre de l'analyse.

### 2.2.1 - Modes de transport

Pour les modes de transport, les choix diffèrent clairement en fonction des concurrences observées au niveau des États. Les petits États vont avoir tendance à modéliser davantage de modes de transport, y compris en différenciant les modes actifs entre eux, au contraire des grands États qui vont se limiter aux modes de transport permettant d'effectuer des trajets de longue distance.

On peut observer quatre façons différentes de traiter le mode voiture :

Traitement du mode voiture :	
voiture	10
différenciation voiture conducteur / voiture passager	3
différenciation voiture solo / voiture à plusieurs	3
inclus dans les "modes motorisés"	2

Le traitement classique sans distinction est majoritaire. Les traitements avec différenciation selon le statut de l'individu ou du véhicule correspondent à des modèles globalement plus complexes (voir parties suivantes).

De même, le mode ferroviaire est traité de façon variable selon les modèles.

Traitement du mode ferroviaire :	
inclut dans un mode "transports publics"	6
train	6
différencié selon le matériel ou le type de ligne	5
non inclus	1

Les statistiques sont cette fois équilibrées entre un traitement homogène, un traitement inclus dans un mode « transports publics » plus large, ou inversement un traitement plus fin avec différenciation des modes ferroviaires selon le type de matériel ou de ligne.

Pour 4 modèles, il y a une différenciation entre le mode d'accès au ferroviaire (ou aux transports en commun urbains), selon si cet accès a été effectué à pied ou en voiture, voire avec un détail plus important comme c'est le cas du modèle de Californie (6 modes d'accès : voiture (qui se gare), voiture (location), voiture (dépose), taxi, transports en commun urbains, marche). Là encore cela correspond aux modèles les plus fins, comportant des arbres décisionnels de choix modal assez complexes (voir parties suivantes).

Les modes actifs sont quant à eux seulement traités dans les modèles qui cherchent à traiter de l'exhaustivité des déplacements et qui ne différencient pas courte et longue distance (les modules courtes distances n'étant pas retenus pour cette analyse) :

Traitement des modes actifs :	
pas de modes actifs	13
modes actifs (ou modes lents) indifférenciés	3
différenciation marche et vélo	2

Enfin, le mode aérien intervient dans 6 modèles, correspondant généralement aux états les plus grands ou des liaisons aériennes internes sont disponibles.

### 2.2.2 - Motifs de déplacements

En ce qui concerne les motifs de déplacements, il y a presque autant de segmentations différentes que de modèles. De façon générale, le choix de différencier un motif dépend de sa proportion dans les déplacements que l'on cherche à modéliser : ainsi les motifs achats, plutôt associés à des déplacements de courte distance, ne sont présents que dans les modèles de petits pays (distances faibles) ou dans les modèles qui traitent de l'exhaustivité des déplacements ; de même, certains motifs comme le tourisme ne sont traités que dans des pays qui ont une problématique spécifique identifiée (exemple : Italie).

### 2.2.3 - Zonages

Les différences sur le nombre de zones sont importantes, allant de quelques centaines pour les modèles les plus agrégés, à plusieurs milliers pour les modèles les plus fins. Il faut néanmoins souligner que le zonage du modèle indiqué correspond au zonage sur lequel le modèle est appliqué, et pas forcément celui sur lequel il a été estimé.

## 2.3 - Déplacements, boucles, activités

On retrouve trois types de modèles dans leur façon de considérer les déplacements :

- les modèles fondés sur les déplacements (indépendants les uns des autres) : c'est le cas de quasiment tous les modèles les plus anciens, mais aussi de certains modèles nationaux récents. Il s'agit de l'approche classique, décrite au 1.1. ;
- les modèles fondés sur les boucles de déplacements, avec des variantes selon les modèles dans la façon de gérer (et de simplifier) ces boucles ;
- les modèles fondés sur les activités.

Le tableau ci-dessous présente l'option qui a été choisie pour les 18 modèles nationaux retenus :

Déplacements / boucles / activités										
Déplacements										9
Boucles								6		
Activités				3						
	France, Allemagne, Grande-Bretagne, Suisse, Californie, Indiana, Virginie, Maryland, Japon									
	Pays Bas, Italie, Suède, Norvège, Michigan, New Hampshire									
	Danemark, Ohio, Oregon									

L'approche fondée sur les déplacements reste l'approche privilégiée à l'heure actuelle, même si la tendance récente va vers les deux autres types de modèles, qui possèdent une meilleure capacité à représenter les comportements des individus (cf § 1.2.1).

### 2.3.1 - Boucles de déplacements

L'intérêt de travailler sur les boucles de déplacement est notamment de pouvoir conserver, au niveau de chaque déplacement de la boucle, des informations sur l'individu qui effectue ces déplacements : ainsi les déplacements secondaires peuvent être nettement mieux modélisés par rapport à l'approche basée sur les déplacements et le modèle garde une meilleure cohérence par exemple, retour au domicile si et seulement si l'usager en est parti. Par ailleurs, cela permet de mieux traiter les interactions entre les déplacements d'une même boucle : par exemple, un individu ayant choisi d'emprunter les transports en commun pour aller au travail le matin aura peu de chance d'utiliser sa voiture pour rentrer chez lui le soir.

Cependant, la question du traitement des boucles est une chose complexe, et il existe plusieurs techniques pour répondre à cette problématique :

- la simplification des boucles à des simples aller-retours depuis le domicile ou depuis le travail : il s'agit de simplifier les schémas de déplacements issus des enquêtes de façon à ramener cette notion de boucles autour de la notion de motif principal du déplacement généralement le domicile ou le travail, selon un schéma domicile – motif – domicile ou travail – motif – travail.

Exemple :

la boucle domicile → travail → autre (repas du midi) → travail → autre (courses) → domicile devient une boucle domicile → travail → domicile (le déplacement intermédiaire est supprimé), et une boucle travail → autre → travail

Une part significative des kilomètres parcourus peut être reproduite à l'aide de cette procédure. Cette technique s'avère adaptée lorsque le nombre de déplacements secondaires est relativement faible.

Cette méthode est par exemple utilisée pour les modèles des Pays Bas et de Norvège.

- le traitement des boucles en entier, en les ramenant à des A/R autour de leur motif (et destination) principal puis en y insérant les motifs (et destination) secondaires avant ou après le motif principal.

Exemple :

la boucle domicile → travail → autre (repas du midi) → travail → autre (courses) → domicile devient : une boucle domicile → travail → domicile, à laquelle on insère a posteriori (dans l'arbre de choix) le déplacement autre entre le travail et le domicile le soir, et une boucle travail → autre → travail.

Cette méthode est par exemple utilisée pour le modèle du New Hampshire.

Dans les deux cas, le choix d'effectuer le déplacement est arbitré à l'aide de modèles de choix discrets.



Il est aussi possible de combiner les deux méthodes précédentes, comme le fait par exemple le modèle national de Suède, en permettant, après avoir généré une boucle donnée, soit de refaire une autre boucle, soit de générer une destination secondaire au sein de la première boucle.

### 2.3.2 - Modèles basés sur les activités

Les modèles basés sur les activités améliorent encore la représentation des comportements des individus en traitant du choix d'activité et donc de déplacement en cohérence avec les autres activités de la journée et du temps nécessaire et disponible pour effectuer celles-ci et en cohérence avec les activités des autres individus du ménage. Ils permettent par ailleurs de limiter la plupart des biais d'agrégation rencontrés dans les autres types de modèles.

Le principe de ces modèles est de décomposer la journée des individus en activités en les caractérisant par une durée ainsi qu'une heure de début et de fin, ou une plage horaire de réalisation.

Exemple :

petit déjeuner (7h30-8h) → aller au travail (8h-8h30) → travailler (8h30-11h45) → aller faire ses courses au supermarché (11h45-12h15) → rentrer au domicile etc.

Ce processus de décision peut se faire soit de manière séquentielle (exemple : modèle de l'Oregon), soit de manière hiérarchique en choisissant d'abord l'activité (et donc le déplacement) primaire puis une activité secondaire avant ou après l'activité primaire, exemple du modèle danois.

L'intérêt de ces modèles est qu'ils sont d'avantage fondés sur la logique comportementale des individus. Ainsi, ils permettent en particulier de mieux modéliser les déplacements non basés sur le domicile (déplacements secondaires) et de mieux traiter les comportements de choix de l'heure de départ.

Les modèles basés sur les activités supposent eux aussi l'utilisation de modèles de choix discret, qui permettent de caractériser les choix d'activité et de déplacement en fonction de la durée de celles-ci, du budget temps disponible aux différentes périodes de la journée, de leur localisation, etc.

Ces modèles sont par ailleurs fondés sur l'utilisation de la micro-simulation pour permettre d'effectuer un raisonnement précis et spécifique au niveau de l'individu, en traitant des interactions avec les autres membres du ménage. Ces modèles supposent donc l'utilisation d'une population synthétique : chaque individu est identifié, ainsi que le ménage auquel il appartient, son lieu de résidence, son activité principale, son lieu de travail ou d'études, etc. Il s'agit donc d'une approche totalement désagrégée, qui suppose l'utilisation d'outils de modélisation *ad hoc*, les outils classiques ne permettant pas la mise en œuvre de ce type de démarche de façon aisée.

Il faut néanmoins souligner que les applications opérationnelles de ces modèles se font généralement de manière simplifiée (limitation du nombre d'activités qui peuvent être combinées sur une même journée, pas ou peu d'interaction entre les membres du ménage, etc.), et finalement l'approche est assez similaire à l'approche fondée sur les boucles, à la différence près que c'est la micro-simulation qui est utilisée pour le modèle basé sur les activités et généralement pas pour les modèles fondés sur les boucles de déplacements, du moins les modèles nationaux.

## 2.4 - Génération

La modélisation de la génération des déplacements peut être soit agrégée, soit désagrégée.

Pour les modèles agrégés le calibrage se fait à l'aide de régressions linéaires ou de simples calculs de moyennes : on détermine ainsi le nombre moyen de déplacements, généralement décomposés par motifs générés, par chaque individu ou groupe d'individus. Cette approche convient aux modèles basés sur les déplacements ou les boucles de déplacements.

Pour les modèles désagrégés, le calibrage et l'application s'effectue à l'aide d'un modèle de choix discret : on parle alors plutôt de modèle de fréquence. Le modèle permet de déterminer la probabilité d'effectuer 0 déplacement, 1 déplacement, 2 déplacements, etc. Les variables explicatives généralement utilisées sont des variables socio-économiques calculées au niveau des individus (âge, CSP, taille du ménage, disponibilité d'un véhicule, revenus, etc.), et les variables expliquées sont les déplacements différenciés par motif. S'il n'y a que des variables socio-économiques utilisées dans les fonctions d'utilité, l'estimation du modèle de choix discret revient donc à l'estimation de simples ratios de mobilité, mais présente néanmoins l'avantage d'être plus satisfaisant statistiquement. Certains modèles intègrent également des variables liées à l'accessibilité des territoires, comme c'est le cas du modèle de Norvège et de celui des Pays-Bas par exemple (pour ce dernier, les résultats obtenus sont toutefois assez mitigés). Le modèle devient alors sensible à la performance du système de transport (prévision de l'induction). Cette approche convient aussi bien aux modèles basés sur les déplacements, les boucles, ou les activités.

Voici la méthode qui a été choisie pour les 18 modèles nationaux retenus :

[illegible]

La pratique se divise donc quasiment à parts égales entre la méthode classique de classification croisée, et l'approche par choix discret. Le choix de la méthode dépend en fait surtout de la méthode qui est employée pour les étapes suivantes du modèle choix de destination et de mode. A noter que seul le modèle japonais utilise l'approche par régression : il ne s'agit pas d'une simple régression linéaire, mais d'une régression log-linéaire faisant intervenir des variables explicatives classiques mais aussi des variables d'accessibilité des transports (logsum des utilités issues de l'étape de distribution) et des constantes zonales.

## 2.5 - Choix de la destination et du mode

Les deux étapes suivantes du modèle sont évaluées dans un chapitre commun car la pratique récente tend à abandonner le modèle de distribution gravitaire classique pour le choix de destination et adopte désormais une modélisation par choix discret qui était historiquement déjà utilisée pour le choix modal.

En effet, pour les modèles retenus, la méthode de modélisation du choix de destination est la suivante :

Choix de destination																	
Choix discret																13	Danemark, Pays Bas, Allemagne, Grande-Bretagne, Italie, Suède, Suisse, Norvège, Californie, New Hampshire, Ohio, Oregon, Japon
Distribution gravitaire					5												France, Indiana, Michigan, Virginie, Maryland

La modélisation du choix de destination à l'aide de modèles de choix discret est donc devenue majoritaire dans les modèles nationaux. L'utilisation d'un tel modèle pour le choix de destination permet d'introduire un certain nombre de variables spécifiques par zone ou entre zones dans les fonctions d'utilités des destinations, pour représenter les effets de réseaux sociaux ou de réseaux d'entreprises explicités au paragraphe 1.2.2. Elles permettent ainsi de mieux reproduire la structure des déplacements sur les territoires.

Par ailleurs, la méthode de modélisation du choix modal utilisée dans ces modèles est la suivante :

Choix modal																
Choix discret															16	France, Danemark, Pays Bas, Allemagne, Grande-Bretagne, Italie, Suède, Suisse, Norvège, Californie, New Hampshire, Ohio, Oregon, Virginie, Maryland, Japon
Choix discret ou grille selon les motifs de déplacement	1															Indiana
Grille	1															Michigan

La modélisation du choix modal à l'aide de modèles de choix discret est donc presque toujours utilisée pour les modèles nationaux.

Pour 13 modèles, on a donc l'utilisation de modèles de choix discret à la fois pour l'étape de choix de destination et de choix modal. Cela permet de garantir une meilleure cohérence entre les choix de mode et les choix de destination (à condition que les formulations des utilités soient cohérentes), et permettent donc d'éviter ou de limiter le problème mentionné au § 1.2.4.

Le principal problème rencontré pour l'utilisation de modèles de choix discret pour le choix de destination est lié à leur estimation : en effet, le nombre de destinations possibles étant important, le nombre d'alternatives est généralement trop lourd pour être pris en charge par les logiciels de calibration dédiés aux modèles de choix discret. Ainsi, il est nécessaire de recourir à un échantillonnage des alternatives, ce qui pose un certain nombre de questions théoriques.

Deux options sont possibles : estimer les modèles de choix de destination et de mode de façon simultanée ou les estimer de façon séquentielle. L'estimation simultanée pose des problèmes théoriques qui sont rarement traités dans les modèles nationaux bien que la méthode soit utilisée dans de nombreux modèles, alors que l'estimation du modèle de choix de destination de façon séparée par rapport au modèle de choix de mode présente l'avantage de pouvoir être traitée de façon relativement simple à l'aide de la méthode par strates *stratified importance sampling* proposée par Ben Akiva & Lerman dans leur ouvrage de 1985 dès lors que l'on utilise une structure multinomiale pour le modèle de choix de destination et donc à la condition que la propriété IIA<sup>1</sup> soit respectée.

Au niveau de l'enchaînement de ces deux étapes, les caractéristiques suivantes ont été relevées :

Succession des étapes																
Choix de destination puis choix de mode															10	France, Danemark, Italie, Californie, New Hampshire, Indiana, Michigan, Virginie, Maryland, Japon
Modèle conjoint															6	Allemagne, Grande-Bretagne, Suisse, Norvège, Ohio, Oregon
Choix de mode puis de destination			2													Pays Bas, Suède

Le positionnement *classique* choix de destination puis choix de mode reste donc majoritaire, mais parmi ces 10 modèles, 5 utilisent une distribution gravitaire qui est incompatible avec un modèle où l'ordre serait inversé. Autrement dit, si l'on regarde les modèles où le choix de destination est un modèle de choix discret, il y a équilibre entre les modèles conjoints (6) et les modèles où le choix de destination arrive avant le choix de mode (5), les modèles où le choix de mode arrive avant le choix de destination restant tout de même minoritaires.

<sup>1</sup> L'IIA est l'« independence of irrelevant alternatives », c'est-à-dire l'indépendance des alternatives non-pertinentes

Il est à noter que ces catégories générales renferment des particularités pour certains modèles :

- dans le modèle du Danemark, il y a différenciation des boucles primaires et des déplacements secondaires dans l'arbre de décision :
  - le modèle génère d'abord des boucles primaires et effectue le choix de destination puis le choix de mode pour cette boucle primaire ;
  - puis, le modèle génère d'éventuels déplacements secondaires et effectue alors seulement le choix de destination pour ces déplacements secondaires, le mode étant celui de la boucle primaire ;
- dans le modèle de la Grande-Bretagne, le choix de destination ne s'effectue pas sur l'ensemble des zones du modèle, mais sur un zonage agrégé ;
- dans le modèle de la Suède, il y a différenciation des boucles primaires et des boucles ou déplacements secondaires dans l'arbre de décision :
  - le modèle génère d'abord des boucles primaires et effectue le choix de mode puis le choix de destination pour ces boucles primaires ;
  - puis, le modèle génère d'éventuels déplacements ou boucles secondaires et effectue seulement le choix de destination pour ces boucles ou déplacements secondaires, le mode étant celui de la boucle primaire.
- enfin, dans le modèle du New Hampshire, il y a une différenciation des boucles primaires et des déplacements secondaires :
  - le modèle génère d'abord les boucles primaires et effectue le choix de destination puis le choix de mode avec seulement deux alternatives : voiture / alternative à la voiture ;
  - puis, le modèle génère d'éventuelles destinations secondaires, et effectue le choix de destination pour ces déplacements secondaires ;
  - enfin, le modèle effectue le choix du mode de transport pour l'ensemble des déplacements ainsi constitués, les alternatives disponibles (modes alternatifs à la voiture, voiture solo, voiture à plusieurs, voiture + transports publics) étant conditionnées par le choix du mode (voiture / alternative à la voiture) de la boucle primaire.

En matière de modélisation du choix modal dans un modèle national, l'utilisation de la motorisation en entrée du modèle, la plupart du temps via une segmentation de la demande, peut s'avérer nécessaire voire indispensable pour améliorer la reproduction des comportements des individus (cf § 1.2.3).

On observe en effet que 15 des 18 modèles retenus utilisent la motorisation c'est-à-dire la disponibilité d'un véhicule particulier en entrée du modèle de choix modal. Seuls le Michigan, la Virginie et le Japon semblent ne pas utiliser de telle segmentation. Cependant, ces derniers utilisent d'autres segmentations selon les revenus, ou les zones de résidence qui permettent d'approcher la notion de motorisation à un niveau agrégé.

Dans la mesure où la plupart de ces modèles nationaux utilisent une segmentation selon la motorisation des individus ou des ménages, il est intéressant d'observer si des modèles de motorisation (avec une puissance prédictive) sont utilisés pour alimenter ces modèles, ou si les segments sont simplement constitués par des grilles déduites des enquêtes disponibles : sur les 15 modèles utilisant la motorisation comme critère de segmentation, seuls 4 modèles n'intègrent pas de modèle de motorisation en entrée (France, Californie, Indiana, et Maryland, mais le modèle de motorisation est en cours de développement pour ce dernier). L'utilisation de modèles de motorisation est donc largement diffusée dans la pratique actuelle. Ces modèles de motorisation sont généralement fondés sur une approche par choix discrets où la variable à expliquer est le nombre de véhicules du ménage.

Les variables explicatives généralement utilisées sont les revenus du ménage, le nombre et l'âge des individus du ménage, ainsi que des variables zonales pour prendre en compte les disparités territoriales. Certains modèles comme par exemple celui des Pays Bas utilisent également des variables liées à la possession du permis de conduire, sachant que cette possession du permis est elle aussi modélisée par un modèle de choix discret avec des variables assez similaires à celles du modèle de motorisation.

## 2.6 - Choix de l'heure de départ

La plupart des modèles nationaux ne cherchent pas à reconstituer les caractéristiques des déplacements sur chaque période horaire car le plus souvent les déplacements de longue distance s'effectuent à cheval sur plusieurs périodes horaires. A l'inverse, la plupart des déplacements nationaux s'effectuent sur une durée inférieure à la journée, c'est la raison pour laquelle la plupart de ces modèles se limitent à la reconstitution d'une journée moyenne. Toutefois, lorsque l'analyse de la congestion ou des étalements de pointe fait explicitement partie des éléments à étudier, il peut être décidé de décomposer le modèle par période horaire. Dans ce cas, la question qui se pose est de savoir à quel moment le modèle distingue les différentes périodes de modélisation. Les options sont multiples :

1) avant la génération : dans la mesure où il est peu probable de trouver une boucle qui se réalise entièrement pendant une seule période, cette option n'est pas envisageable pour un modèle basé sur les boucles ou les activités, mais elle peut être utilisée pour un modèle par déplacement. Cependant, aucun exemple d'application de cette option n'a été trouvé dans les 18 modèles retenus ;

2) entre la génération et le choix de destination ou de mode selon leur ordre d'apparition : l'avantage de réaliser le choix de la période le plus tôt possible est de pouvoir prendre en compte les différences d'offre de transport selon la période de la journée pour toutes les étapes suivantes du modèle, mais cela correspond probablement moins au comportement des individus. Là aussi, aucun exemple d'application de cette option n'a été trouvé dans les 18 modèles retenus ;

3) pendant le choix de destination et de mode : l'avantage de réaliser le choix de la période de manière conjointe avec les choix de destination et de mode est de pouvoir profiter de toute la rigueur statistique disponible lors de l'estimation des modèles de choix discret ;

4) juste avant l'affectation : la réalisation du choix de période après le choix de destination et de mode suppose que l'on effectue le choix de destination et de mode par rapport à une offre *journalière*, ce qui diminue clairement l'intérêt d'une décomposition du modèle en périodes horaires. Cette solution est néanmoins employée dans certains modèles nationaux opérationnels.

Voici la méthode qui a été choisie pour les 18 modèles nationaux retenus :

Décomposition en période horaire														
Non (modèle à la journée)													10	France, Allemagne, Italie, Suède, Suisse, Norvège, Indiana, Michigan, Virginie, Japon
Oui	Avant l'affectation						5							Pays Bas, Grande-Bretagne, Californie, New Hampshire, Maryland
Oui	Pendant le choix de destination et de mode				3									Danemark, Ohio, Oregon

L'utilisation des deux approches semble donc équilibrée dans la pratique actuelle, sachant que l'approche par période horaire est plutôt réservée aux modèles complexes fondés sur les activités, ou les boucles avec utilisation de choix discrets dès la génération.

La majorité des modèles procède donc au choix de l'heure de départ juste avant l'affectation, le plus souvent à l'aide de taux de conversion fixes, indépendamment de l'offre de transport.

On remarque que l'option d'intégration de l'étape de choix de l'heure de départ au milieu de l'arbre de décision (entre les étapes de choix de destination et de mode, ou de manière conjointe n'est utilisée, dans notre échantillon de modèles, que dans les modèles basés sur les activités.

## 2.7 - Affectation

Dans la documentation disponible sur les modèles nationaux, les informations sur les étapes d'affectation sont souvent partielles, voire absentes.

L'information sur l'affectation routière n'a été trouvée que sur 12 des 18 modèles retenus, avec le bilan suivant :

Affectation routière							
Affectation statique de type <i>user equilibrium</i>						6	France, Indiana, New Hampshire, Ohio, Oregon, Virginie
Affectation statique en tout ou rien		2					Michigan, Maryland
Pas d'affectation		2					Norvège, Japon
Affectation statique de type <i>stochastic user equilibrium</i>	1						Grande-Bretagne
Affectation pseudo-dynamique	1						Pays-Bas

La majorité des modèles utilise l'affectation statique classique, fondée sur l'équilibre de Wardrop désigné par l'expression *user equilibrium*. On note toutefois quelques différences dans la méthode d'exécution de ces affectations : celles-ci sont soit multi-classes, par classe de valeur du temps (France), de véhicules (Indiana, Ohio, Virginie), ou de revenus (Maryland), soit mono-classe (New Hampshire). Ces modèles utilisent des courbes débit/vitesses qui ont généralement été calibrées spécifiquement, les affectations étant souvent journalières utilisant les valeurs des capacités journalières sauf pour les modèles décomposant les flux par période horaire avant l'affectation. Le modèle de Grande-Bretagne est le seul à utiliser une affectation stochastique (Dial)<sup>2</sup>, l'affectation étant multiclasse par classe de valeur du temps. Par ailleurs, le modèle des Pays Bas est le plus ambitieux sur le plan de l'affectation routière, puisque l'affectation y est pseudo-dynamique. L'algorithme utilisé (QBLOK) a été développé spécifiquement pour ce modèle, il fonctionne comme une affectation statique à l'équilibre mais prend en compte en plus les remontées de congestion créées par les différents nœuds du réseau. On remarque enfin que deux modèles n'ont pas du tout d'affectation, ceux-ci ayant été développés pour des objectifs très stratégiques, fournir des indicateurs globaux, et non pour de potentielles études de projets ou schémas d'infrastructures.

L'information sur l'affectation dans les transports en commun (bus, fer, ou air) n'a été trouvée que sur 9 des 18 modèles retenus, avec le bilan suivant :

Affectation dans les transports en commun							
Pas d'affectation						4	Pays Bas, Norvège, Michigan, Japon
Affectation en tout ou rien		2					New Hampshire, Maryland
Loi de Kirschhoff	1						France,
Optimal strategies	1						Oregon
Affectation à demande élastique	1						Grande-Bretagne

<sup>2</sup> Évoqué dans le livre de P. Bonnel [1]

La majorité des modèles ne propose pas d'affectation sur les modes de transports en commun, qu'ils soient ferroviaires, routiers, ou aérien. Ces modèles s'arrêtent donc à la prévision des parts modales et des flux pour ces modes, sans aller jusqu'à l'étude de la fréquentation (serpents de charges) des différentes lignes. Toutefois, même si l'étape d'affectation n'y est pas explicitée, ces modèles possèdent probablement un outil simplifié de reconstitution des alternatives (qui revient à une affectation en tout ou rien) pour permettre de calibrer les modèles de choix de destination et de mode. Parmi les modèles possédant une étape d'affectation explicite pour les transports en commun, on retrouve deux modèles qui utilisent l'affectation en tout ou rien (sur le coût généralisé du déplacement), et trois modèles qui utilisent des lois plus complexes (et différentes pour chaque modèle) autorisant la répartition entre plusieurs itinéraires pour une même O/D par exemple dans les modèles de la France, de l'Oregon, et de la Grande-Bretagne.

## Conclusion

Cette revue des modèles nationaux de transport multimodal de voyageurs est fondée sur 18 modèles nationaux en Europe, aux États Unis, et en Asie, sélectionnés pour la taille du territoire qu'ils recouvrent et pour leur intérêt méthodologique.

Voici les principaux enseignements de ce travail :

- l'utilisation opérationnelle de modèles basés sur les boucles de déplacements ou sur les activités est de plus en plus fréquente : ces modèles permettent de mieux prendre en compte les interactions entre les déplacements d'un même individu, voire entre les individus d'un même ménage, ce qui permet d'améliorer considérablement le pouvoir explicatif de ces modèles ;
- les modèles de génération par régression linéaire sont délaissés au profit de la méthode de classification croisée ou de la méthode par choix discret, permettant de garantir une meilleure rigueur statistique du modèle ;
- le modèle de distribution gravitaire classique est progressivement abandonné pour aller vers des modèles de choix de destination par choix discret, estimés soit de façon séquentielle avec le modèle de choix modal, dans un ordre ou dans un autre, soit de façon simultanée dans des modèles combinés de choix de destination et de choix de mode ;
- les modèles de choix de mode utilisés sont presque systématiquement des modèles désagrégés de choix discrets, intégrant des informations individuelles liées à la motorisation (segmentation du modèle). La motorisation est quant à elle souvent incluse à l'aide d'un modèle spécifique, là encore, via un modèle de choix discret ;
- les modèles nationaux sont peu décomposés par période horaire, ou alors le plus souvent juste avant l'étape d'affectation. L'arbre de décision du modèle de demande se déroule donc le plus souvent sur des caractéristiques journalières ;
- enfin, les modèles d'affectation utilisés sont souvent classiques, voire simplifiés : affectation statique à l'équilibre (Wardrop) pour les modes routiers, affectation en tout ou rien, voire pas d'affectation du tout pour le ferroviaire.

Cette revue technique permet de se rendre compte de l'application opérationnelle des nouveaux développements issus de la recherche et d'en tirer des enseignements pour la réflexion sur la constitution d'un nouveau modèle national français. Les conclusions peuvent également être reprises pour la réalisation de modèles à l'échelle régionale dont les contraintes et les attentes sont globalement identiques à celles des modèles nationaux.

Enfin, cette revue technique pourrait utilement être complétée par un travail similaire de recensement des différents modes de gouvernance et d'utilisation de ces modèles. Cependant, ces informations sont bien souvent peu présentées dans les publications scientifiques et techniques qui sont mises à disposition et nécessiteraient probablement des prises de contact directes auprès des entités en charge de la gestion et de la mise en œuvre de ces outils.



## Bibliographie

- [1] Prévoir la demande de transport. BONNEL P., Presses de l'ENPC , 2004 409p.
- [2] Discrete Choice Analysis. BEN AVIKA & LERMAN, MIT Press in transportation studies, 1985
- [3] A combined distribution, hierarchical mode choice and assignment network model with multiple user and mode classes. WONG K.I., WONG S.C., WU J.H., YANG H. & LAM W.H.K. Urban and Regional Transportation Modelling : Essays in Honor of David Boyce, 2004 399p
- [4] The new Swedish national travel demand forecasting tool. ALGERS S., BESER M. SAMPERS .IATBR 2000 conference in Brisbane, Australia 18p.
- [5] Disaggregate treatment of purpose, time of day and location in activity based regional travel forecasting model. BOWMAN, BRADLEY. Proceedings of the European Transport Conference 2005, 2005 26p.
- [6] Generation of coherent trip chains for travel behaviour analysis and modelling. CYGANSKI R., JUSTEN A., SCHULZ A. & KOHLER K. Proceedings of the European Transport Conference 2013 16p.
- [7] California Statewide Travel Demand Model – Model Development – Long Distance Personal Travel Model, California Department of Transportation, 2011, *CSTDM09* , May 2011 51p.
- [8] The trade creating effects of business and social networks: evidence from France. COMBES, LAFOURCADE, MAYER. *Article*. Journal of International Economics 66 (2005) 1-29. 2004 36p.
- [9] Modèles nationaux de prévision du trafic en Europe et ailleurs. DALY A. & SILLAPARCHARN P. Centre de recherche sur les transports-atelier du 27-28 septembre 2004, 2004 19p.
- [10] Variable demand modelling: key processes. Transport Analysis Guidance Unit 3.10.3. Department for Transport, UK, 2005 48p.
- [11] The National Transport Model. NTM version 4 high level overview. Department for Transport, UK, 2009 32p.
- [12] Review of Rand Europe's Transport Demand Model Systems. FOX J., DALY A. & GUNN H. Rand Europe 2003, 2003 102p.
- [13] TLUMIP 2nd generation model design. HUNT J.D. & DONNELLY R. Oregon TLUMIP 2nd symposium, Portland, Oregon, July 2000 100p.
- [14] Indiana statewide travel demand model: model upgrade. Indiana Department of Transportation, September 2004, 2004 70p.
- [15] New generation Dutch national and regional models: an overview of theory and practice JOSKIMOVIC D. & VAN GROL R. Proceedings of the European Transport Conference 2012, 2012 20p.
- [16] Inter-Urban Travel Demand Analysis Using Integrated Model: Latest Report from Japan. KATO H., KURITA Z., KATO K., TANABE K., ENDO K., KAMEKO Y. & SHIMIZU T. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8, 2011, 2011 16p.
- [17] Statewide travel forecasting models. National Cooperative Highway Research Program, 2006, NCHRP synthesis 358, Transportation Research Board 2006 125p.
- [18] Advanced practices in travel forecastin. National Cooperative Highway Research Program, 2010, NCHRP synthesis 406, Transportation Research Board 2010 90p.

- [19] Travel Demand Forecasting: Parameters and Techniques. National Cooperative Highway Research Program, 2012, NCHRP synthesis 716, Transportation Research Board 2012 170p.
- [20] The New Hampshire Statewide Travel Model System. New Hampshire Department of Transportation, 1998 22p.
- [21] The Oregon Modeling Improvement Program: An Overview. Oregon Department of Transportation, 2002, Transportation Planning Analysis Unit, MW Consulting, PB Consult, Inc., June 2002 71p.
- [22] A Long Distance Travel Demand Model for Europe. RICH J. & MABIT S. L. European Journal of Transport and Infrastructure Research (ISSN 1567-7141), 2011 20p.
- [23] Activity based demand modelling on a large scale: experience from the new danish national model. RICH, PRATO, DALY. Proceedings of the European Transport Conference 2010, 2010 19p.
- [24] Quality assessment of the Dutch national and regional models, SMIT R.& KIKKEMA H. Proceedings of the European Transport Conference 2010, 2010 19p.
- [25] Updating and extending the disaggregate choice models in the dutch national model. WILLIGERS J., DE BOK M. Proceedings of the European Transport Conference 2009, 2009 23p.
- [26] Feasibility and benefits of advanced four-step and activity-based travel demand models for Maryland. ZHANG L.& CIRILLO C. State Highway Administration Research report, May 2011, 2011 160p.
- [27] Multi-Modal Inter-Regional Travel Demand Estimation. ZHANG L. & XIONG C., TRB 2011 Annual Meeting, 2011 20p.

## Résumé

Le rapport fait un état de l'art européen et mondial des modèles nationaux de voyageurs. Il étudie notamment les 4 grandes parties d'un modèle : la génération, la distribution, le choix modal et l'affectation.

Connaissance et prévention des risques - Développement des infrastructures - Énergie et climat - Gestion du patrimoine d'infrastructures  
Impacts sur la santé - Mobilités et transports - Territoires durables et ressources naturelles - Ville et bâtiments durables

Document consultable et téléchargeable sur le site <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>

*Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.  
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable de l'auteur devra être demandé.  
Référence : 1504w – ISRN : CEREMA-DTeciTM-2015-004-2*

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement  
Direction technique infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris, 77171 Sourdun - Tél. : +33 (0)1 60 52 31 31  
Siège social : Cité des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. : +33 (0)4 72 14 30 30

Établissement public - Siret 130 018 310 00016 - [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)