



# T H É M A

Essentiel

## Commissariat général au développement durable

# MODEV

## La modélisation des flux nationaux de transport

JUIN 2019

Les évaluations des politiques publiques de transport nécessitent de déterminer leurs impacts sur la demande et sur les trafics au niveau de l'ensemble des réseaux de transports et sur l'ensemble du territoire. Pour répondre à ce besoin et représenter de façon satisfaisante l'ensemble des trafics de passagers et de marchandises au niveau national, le Ministère de la transition écologique et solidaire a développé un modèle de trafic géographique et multimodal nommé MODEV. Développé depuis le début des années 2000, MODEV est structuré pour estimer à la fois la demande de transport à moyen et long terme sur le territoire métropolitain ainsi que pour analyser la répartition modale, le fonctionnement des réseaux et l'optimisation de l'usage des infrastructures.

### UNE ARCHITECTURE CLASSIQUE A QUATRE ETAPES

MODEV suit une architecture classique à quatre étapes, adaptée pour estimer au sein du même outil les trafics de voyageurs et de marchandises.

**La partie voyageurs** de MODEV comprend trois modes : les transports routiers, ferroviaires et aériens. Même si un module permet d'estimer de façon simplifiée les flux de voyageurs de courte distance, ce sont principalement les déplacements de longue distance, c'est-à-dire de plus de 100 kilomètres, qui sont estimés dans MODEV.

**La partie marchandises** comprend pour sa part quatre modes : les transports routiers, ferroviaires, fluviaux ainsi que le transport combiné entre les modes routier et ferroviaire.

C'est un modèle statique représentant des trafics moyens journaliers annuels. Les variations de trafic au sein d'une

même journée ainsi que les notions d'heure de pointe et d'heure creuse ne peuvent donc pas être simulées. Le trafic sur une année complète est ramené à un trafic moyen journalier calculé en distinguant plusieurs périodes de l'année.

Une approche à 4 étapes est utilisée aussi bien pour la partie marchandises que la partie voyageurs de MODEV.

**La génération de la demande.** La première étape de modélisation consiste à déterminer le volume de déplacements de voyageurs et de marchandises amenés à être transportés, en faisant appel à un certain nombre d'hypothèses macro-économiques (emploi, salaire moyen par tête, et démographiques (population), PIB, valeurs ajoutées des différents secteurs économiques). À l'issue de cette étape sont calculés les flux entrants et sortants de chaque zone géographique modélisée.

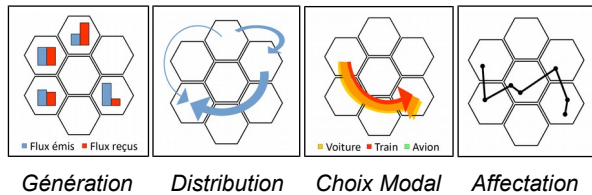
**La distribution des flux.** La seconde étape est celle de la distribution. Elle vise à répondre à la question « Vers où se déplacer ». Pour chaque origine, les flux sont alors distribués entre les différentes destinations possibles en fonction de l'attractivité de chaque destination et des coûts de transport qui leur sont associés.

**La répartition modale.** La troisième étape est celle du choix modal. Les flux sont répartis sur les différents modes disponibles. Ce choix dépend d'un arbitrage entre prix, temps de transport et qualité de service. Les modèles de choix modal utilisés pour le transport de marchandises comme pour le transport de personnes sont des modèles de type logit hiérarchique : le choix se fait d'abord entre le mode routier et les modes massifiés (fer et fluvial pour les marchandises, fer et aérien pour les personnes), puis entre les différents modes massifiés.

**Le choix de l'itinéraire.** Enfin, une fois la destination et le mode choisi, l'étape d'affectation consiste à choisir l'itinéraire à emprunter lorsque plusieurs itinéraires sont envisageables. Un algorithme de plus court chemin est mis en place, prenant en compte le coût du temps à l'aide d'un paramètre appelé « valeur du temps ». Dix valeurs du temps ont été définies suivant une loi log-normale, reflétant la variabilité des comportements de déplacements et permettant des affectations différenciées pour un même trajet. Le calcul de l'itinéraire s'effectue alors en optimisant le « coût généralisé » du trajet, prenant en compte à la fois son coût et son temps.

## MODEV – La modélisation des flux nationaux de transport

Figure 1 - les quatre étapes de modélisation



Dans le cas de la modélisation des flux de voyageurs, cette étape prend en compte la congestion routière, c'est-à-dire la diminution des vitesses moyennes pratiquées calculées en fonction des trafics modélisés. Les temps de trajet sur le réseau routier sont calculés à partir de courbes débit-vitesse qui renseignent la vitesse moyenne pratiquée selon la charge du réseau. Ainsi, sur un axe routier donné, plus le nombre journalier de véhicules y circulant est élevé, plus la vitesse moyenne pratiquée calculée diminue. Ces courbes au nombre de 47 sont différenciées selon le type de route et le type de relief (montagne, vallée ou plaine) pour les voies non urbaines. Un bouclage est alors mis en place en fin de processus pour recalculer les étapes de distribution et de choix modal à partir des temps de parcours obtenus en fin d'affectation. Plusieurs itérations sont exécutées jusqu'à convergence du modèle.

La modélisation des flux de marchandises est réalisée en amont de la modélisation des flux de passagers. Cette étape prend en compte la congestion ferroviaire via des courbes de type débit-vitesse renseignant la vitesse ferroviaire selon la charge du réseau. Un bouclage des étapes de calcul des coûts et des prix, du choix modal et de l'affectation est ainsi réalisé.

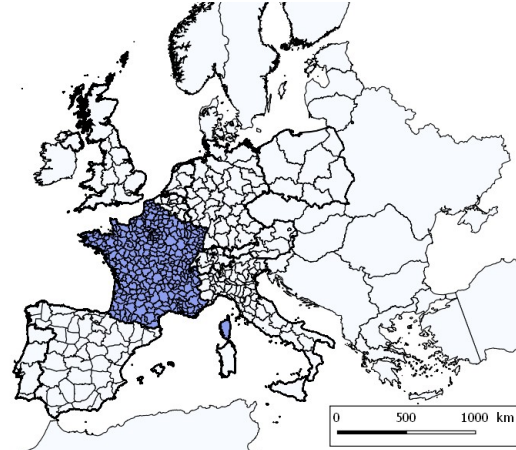
Une fois que tous les véhicules ont été affectés sur le réseau routier, leur vitesse moyenne pratiquée est calculée en fonction de la totalité des trafics modélisés à partir des courbes débit-vitesse routières.

### UNE MODÉLISATION FINE DES DÉPLACEMENTS

L'aire d'étude de MODEV comprend bien évidemment le territoire métropolitain mais également d'autres pays européens. En effet, si l'objet de MODEV est d'estimer des trafics à l'échelle nationale, l'importance des questions de transit et d'échange, notamment pour le transport de marchandises, rend nécessaire de travailler à une échelle européenne.

La finesse du zonage est variable et dépend de la précision recherchée. La France est découpée selon les zones d'emplois définies par l'INSEE en 1999. Les pays limitrophes sont découpés en unités régionales NUTS2 ou NUTS3. Enfin, les pays périphériques ne sont modélisés qu'en une seule zone. Les ports maritimes font l'objet d'un zonage spécifique afin d'estimer les flux de pré et post-acheminement pour ces ports en particuliers. Le modèle totalise ainsi 342 zones pour la France (dont 8 ports maritimes) et 230 pour l'étranger.

Figure 2 - Aire d'étude de MODEV



Les paramètres du modèle de voyageurs sont estimés sur la base de l'Enquête Nationale Transport Déplacement (ENTD). D'autres données observées viennent corriger les flux estimés par cette enquête. Il s'agit principalement de la matrice ferroviaire de voyageurs (TGV et Intercités) région à région, des bulletins statistiques de la DGAC fournissant les trafics ligne par ligne et enfin des données Isidor renseignant des comptages de trafic sur le réseau national, nécessaires pour le calage des affectations des véhicules légers et des poids lourds. Les paramètres du modèle de marchandises sont estimés sur la base de données de flux en tonnes de zone à zone (base Sitram, données de VNF et de la SNCF).

Cette demande se caractérise par un important niveau de désagrégation. Les déplacements de personnes sont distingués selon trois motifs et six périodes. Ceux de marchandises sont désagrégés en 10 types de marchandises (voir figure 3). Cette finesse de représentation permet de refléter les variations de comportement de mobilité et notamment de choix de mode selon le groupe de personnes, ainsi que les différences de choix de mode selon la catégorie de marchandises.

Figure 3 - Modélisation de la demande sur MODEV

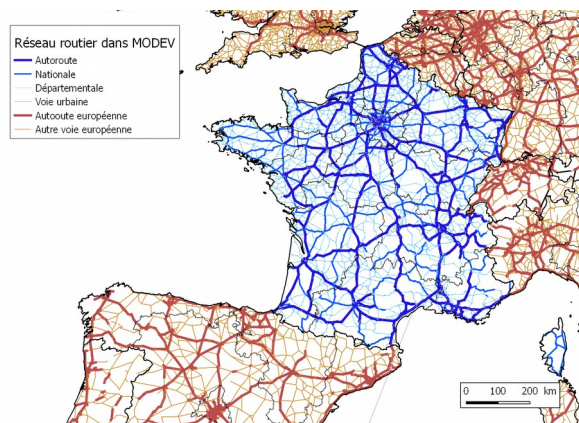
Variable	Nombre	Modalités
Période de déplacement	6 (2x3)	Été, hors été
		Jour de semaine, samedi, dimanche
Motif de déplacement	3	Professionnel, personnel, autre
Profil socio-professionnel	10	Motorisé, non-motorisé
		Actif mobile, actif peu mobile, retraité
		Famille, adultes seuls
Type de marchandise	10	Chapitres de la NST-R 1970

### UN RÉSEAU MULTIMODAL

MODEV est caractérisé par une représentation suffisamment détaillée de l'offre de transport avec quatre réseaux : un réseau routier, un réseau ferroviaire, un réseau fluvial et un réseau aérien. Deux réseaux routiers ont été développés : un réseau dit « fin » et un réseau simplifié.

**Le réseau routier** est relativement complet, prenant en compte aussi bien le réseau principal (autoroutes et nationales) que départemental et communal. Ce réseau est utilisé pour l'affectation des flux « courtes distances ». Pour l'affectation des flux de voyageurs « longues distances », un deuxième réseau simplifié est construit. Ce dernier ne conserve que les axes principaux (simplification au niveau des routes départementales et particulièrement des voies urbaines). Celui-ci permet de réduire ainsi les temps de calcul. Il est composé de 135 000 arcs « double sens ». La capacité des infrastructures est prise en compte dans le modèle à partir de courbes débit-vitesse afin d'intégrer la notion de congestion. La division de la demande en périodes permet également de différencier la congestion selon le jour de la semaine et les périodes de vacances.

Figure 4 - Réseau routier simplifié de MODEV (2015)

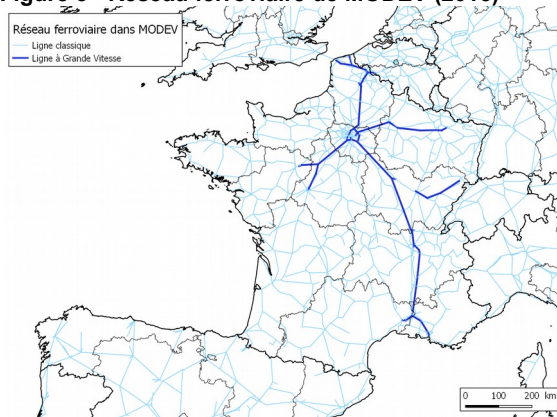


**Le réseau ferroviaire** est représenté par 9 500 arcs double sens. Il est modélisé intégralement sur le territoire français et intègre les notions de pentes, nombre de voies, électrification et les vitesses réglementaires de circulation. L'offre est régulièrement mise à jour et permet de renseigner des trajets en TGV, TET et TER. 629 gares sont codées au sein du modèle, dont 411 en France. Les services d'autoroutes ferroviaires (liaisons permettant l'acheminement de poids lourds sur des trains sur de longues distances), font l'objet d'un module de la partie marchandises de MODEV.

**Le réseau fluvial** est également modélisé intégralement sur le territoire français et comporte 3 400 arcs double sens. L'infrastructure fluviale est notamment décrite par le nombre d'écluses et les tailles de gabarits. MODEV représente 104 ports fluviaux en France.

Enfin, **les liaisons aériennes** européennes ayant pour origine ou destination la France sont prises en compte. 158 aéroports sont modélisés dans MODEV dont 56 en France.

Figure 5 - Réseau ferroviaire de MODEV (2015)



Le prix routier a été déterminé à partir de ses différentes composantes : le coût du carburant, les coûts d'entretien, le coût de péage ainsi que les coûts journaliers et horaires dans le cas des poids lourds. Des bases de données de prix (péage fluvial, prix ferroviaires, etc.) permettent ensuite d'estimer précisément le prix et temps de parcours d'un trajet sur les différents réseaux massifiés. Pour ce qui concerne les voyageurs, les offres ferroviaire et aérienne (prix, fréquence, etc.) ont été codifiées dans MODEV, avec une prise en compte des stratégies de yield management (variation du billet en fonction de la date de réservation) et de la saisonnalité selon le jour de la semaine et la période de l'année (été ou hors été).

### UN MODULE POUR PRENDRE EN COMPTE LES DÉPLACEMENTS COURTE DISTANCE

MODEV est principalement conçu pour estimer les déplacements longue distance. Toutefois, ces flux traversent des agglomérations. Les conditions de circulation sur les principaux axes urbains ont un impact sur les déplacements longue distance en voiture. Il est donc nécessaire de représenter les trajets courte distance routiers au sein de MODEV. Les données utilisées pour estimer ces flux sont l'Enquête ENTD de 2008 et les données de mobilité du Recensement Général de la Population sur les déplacements professionnels et scolaires.

## LES AMÉLIORATIONS ENVISAGÉES

Plusieurs pistes d'amélioration sont envisagées sur le modèle MODEV. La première vise à actualiser les données de demande du modèle voyageurs. La modélisation des déplacements de personnes repose actuellement sur des comportements de mobilité de 2008, date de la précédente enquête nationale sur les déplacements de personnes. La prochaine enquête de ce type (enquête sur la mobilité des personnes) réalisée entre avril 2018 et avril 2019 devrait permettre d'actualiser ces comportements et d'intégrer deux modes de transport au modèle : le covoiturage et les autocars. D'autres pistes d'amélioration sont en réflexion telles que l'actualisation des projections de la demande de marchandises, la mise à jour des données d'offre aérienne et ferroviaire, ou encore l'intégration des véhicules utilitaires légers au modèle de marchandises.

## QUELQUES APPLICATIONS DE MODEV

MODEV est utilisé pour tester les politiques de transport et leurs impacts environnementaux. Il permet donc d'estimer l'évolution de la demande, les reports modaux, le choix d'itinéraire et la congestion routière. Un module annexe permet d'analyser les volumes de voyageurs et de marchandises et également d'estimer un certain nombre d'externalités (CO<sub>2</sub>, polluants, pollution locale, bruit, accidentalité), ainsi que leur monétarisation. Un des intérêts d'un modèle tel que MODEV est qu'il est possible d'établir un bilan CO<sub>2</sub> tenant compte des vitesses de circulation pratiquées de façon simplifiée : les vitesses pratiquées sur autoroutes occasionnent par exemple davantage d'émissions de CO<sub>2</sub> que celles pratiquées sur les routes nationales ou départementales.

C'est un modèle qui estime à la fois les flux de marchandises et les flux de personnes. Le domaine de pertinence du modèle comprend les flux de marchandises et les flux de personnes sur de longues distances. Ainsi, utiliser MODEV à une échelle trop locale n'est pas pertinent. Il n'est donc pas possible d'évaluer une politique publique au sein d'une même zone voire entre deux zones contiguës (réalisation d'une bretelle d'autoroute ou d'un rond-point, piétonnisation d'une rue, etc.) ; des modèles à une échelle régionale, départementale ou locale sont plus à même de tester ce type de projets.

Une des premières applications d'un modèle comme MODEV est de projeter la demande de transport au niveau national sur le moyen et le long terme. Le dernier exercice de projections publié date de 2016 (*Projections de la demande de transport sur le long terme, juillet 2016*). La mise en œuvre de la Stratégie Nationale Bas Carbone ainsi que le Plan Climat pour la France présenté en juillet 2017 ont rendu nécessaire une actualisation de ces projections qui devrait être publiée en 2019. Une actualisation plus conséquente devrait être effectuée entre 2020 et 2021 suite à la réalisation de la nouvelle enquête sur la mobilité des personnes. Ces projections fournissent des hypothèses d'évolution de la demande et du trafic longue distance, pouvant alimenter des modèles plus locaux.

MODEV permet également d'évaluer des schémas d'infrastructures. Ainsi, MODEV a été utilisé pour éclairer les réflexions sur les programmes d'infrastructures routières, ferroviaires et fluviales dans le cadre du rapport Mobilité 21 ou plus récemment pour le compte du Conseil d'Orientation des Infrastructures et dans le cadre de la loi d'orientation des mobilités.

Enfin, une des finalités de MODEV est de tester différents types de politiques publiques concernant différentes thématiques : tarification, services de transport (autoroutes ferroviaires, variation de l'offre des transports massifiés), réglementation routière, etc. Plusieurs études d'évaluation de politiques publiques de transport ont été publiées à partir de résultats issus de MODEV parmi lesquelles : *Réduction des vitesses sur les routes – Analyse coûts bénéfiques*, (Fragnot, 2018), *Indisponibilité d'une infrastructure de transport – Mesurer et réduire les coûts* (Peveri, 2017), *Concept d'autoroute électrique – Evaluation socioéconomique*, (Fragnot, 2017), *Le potentiel de développement des autoroutes ferroviaires – Etude exploratoire*, (Pochez, 2017), *Projections de la demande de transport sur le long terme* (Cabanne, Pochez, Wagner, 2016), *Hinterland des ports maritimes (tome 1) : Modélisation des trafics des ports français*, (2014), *La demande de transport interurbain et les trafics à l'horizon 2030* (2012), *Optimisation de la localisation des terminaux de transport combiné* (2011).

Directeur de la publication : Thomas Lesueur, Commissaire général au développement durable

Auteur : Martin Cori

Dépôt légal : Juin 2019

ISSN : 2555-7564

# Commissariat général au développement durable

Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

Sous-direction de la mobilité et de l'aménagement

Tour Séquoia

92055 La Défense cedex

Courriel : [ma.seei.cgdd@developpement-durable.gouv.fr](mailto:ma.seei.cgdd@developpement-durable.gouv.fr)

[www.ecologique-solidaire.gouv.fr](http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr)

