



ORGANISATION
FOR ECONOMIC
CO-OPERATION AND
DEVELOPMENT



18TH MADRID 2009

INTERNATIONAL     
TRANSPORT RESEARCH SYMPOSIUM

Document de référence n° 2009-27

Novembre 2009

**Les perspectives du transport interurbain de personnes
Rapprocher les citoyens**

**SESSION 4 : INNOVATIONS ET INTERACTIONS ENTRE
SYSTEMES DE TRANSPORTS**

***Les impacts économiques possibles des innovations technologiques et
organisationnelles
sur l'accès intermodal aux grands terminaux voyageurs***

par

Francisco J. TAPIADOR
Universidad de Castilla-La Mancha

et

Jordi MARTI-HENNEBERG
Universidad de Lleida

Espagne

Les points de vue exposés dans ce rapport sont ceux de son auteur et ne représentent pas nécessairement ceux de l'Universidad de Castilla-La Mancha, de l'Universidad de Lleida, de l'OCDE ou du Forum International des Transports.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	3
1. INTRODUCTION.....	3
2. INTERMODALITÉ ET ACCESSIBILITÉ EN EUROPE.....	4
3. PROFILAGE DU VOYAGEUR.....	5
4. FACTEURS SUR LESQUELS LES ITO PEUVENT AVOIR DE L'INFLUENCE	6
4.1. Effets directs	6
4.2. Effets induits	7
5. APERÇU QUANTIFIABLE : UN MODÈLE PARAMÉTRIQUE	8
6. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS	10
BIBLIOGRAPHIE	12
FIGURES ET TABLEAU.....	14

Remerciements

Cette étude a été en partie financée par des bourses de recherche -- CGL2006-03611 et PAI06-0101 (innovation et transfert de connaissances) ; les programmes I3 et Ramon y Cajal, et le projet FP-005 Eau, route et rail 2005SGR01089 (Fondation européenne de la science).

RÉSUMÉ

Le présent rapport examine les impacts économiques possibles d'innovations telles que la billetterie intelligente et l'accès instantané aux horaires ferroviaires et à l'information sur les correspondances intermodales. Dans un premier temps, il aborde le rôle qualitatif des innovations technologiques et organisationnelles (ITO) dans le cadre de l'intermodalité. Dans un deuxième temps, il décrit un modèle paramétrique quantitatif simple, qui sert ensuite à analyser les impacts des ITO sur la demande de transport ferroviaire, l'accessibilité et le bien-être des voyageurs dans l'hypothèse d'une rationalité limitée. Sous réserve que le modèle permette de rendre compte des principaux processus à l'œuvre, les résultats montreront les effets possibles des choix qui s'offrent aux pouvoirs publics et des innovations technologiques, à la fois indépendamment et collectivement, ce qui permettra de débattre de leurs avantages et synergies. Une analyse des résultats quantitatifs indique que les effets sont favorables, dans une large mesure non linéaires et susceptibles de se cumuler en raison d'incidences de grande portée, liées, par exemple, à l'économie du changement climatique.

1. INTRODUCTION

Le train à grande vitesse (TGV) ne cesse de s'imposer comme un mode de transport offrant souplesse et commodité, en comparaison, par exemple, avec la voiture particulière, l'autocar et l'avion. Embarquement rapide, possibilité de travailler et/ou de tenir des réunions à bord, centralité de la plupart des gares TGV en Europe, voilà autant d'avantages qui ont favorisé un accroissement du nombre de voyages d'affaires par voie ferroviaire au cours de la dernière décennie. Le TGV sert également aux déplacements domicile-travail dans plusieurs régions d'Europe (notamment en Espagne, où des trains à grande vitesse relient Madrid à Ségovie, Tolède, Guadalajara et Saragosse ; et Barcelone à Lleida et Saragosse). Le marché captif que représente la croissance actuelle du trafic de migrants alternants est alimenté par de nouveaux usagers qui posent des choix rationnels face à l'explosion des prix fonciers dans les centres urbains et qui se déplacent vers des villes satellites situées à une distance raisonnable où la vie est moins chère.

L'expérience montre que la majorité des déplacements hebdomadaires (Figure 1) est attribuable aux cols blancs et aux personnes travaillant dans le secteur tertiaire de pointe. Cette clientèle est attirée par les rabais sur l'achat de titres de transport en grand nombre, les tarifs flexibles et la fiabilité. Un autre marché lié aux déplacements d'affaires, plus limité, est insensible au prix. Les voyageurs occasionnels qui choisissent le train plutôt que l'avion veulent éviter le stress occasionné par les contretemps de plus en plus nombreux qui caractérisent les voyages par avion et préfèrent les gares ferroviaires urbaines situées en plein centre aux terminaux aéroportuaires périphériques qui sont souvent très éloignés du centre-ville. Tous ces facteurs considérés, l'intermodalité influe à l'évidence

sur le choix des usagers réguliers en faveur du train et contribue à limiter l'utilisation de l'automobile à ce que l'on a coutume d'appeler « le dernier kilomètre », c'est-à-dire le trajet qui relie le dernier mode de transport public utilisé au domicile ou au lieu de travail. On s'accorde largement à considérer l'amélioration de l'intermodalité comme l'un des principaux facteurs susceptible de promouvoir l'adoption généralisée des transports publics en Europe.

Il est généralement admis que le succès du modèle intermodal dépend dans une large mesure selon que les transports publics sont perçus comme efficaces ou non et selon le degré de fluidité du transfert modal (UITP, 2003). Dans ce cadre, les innovations technologiques et organisationnelles (ITO) peuvent avoir un impact profond sur l'intermodalité. Les technologies récentes, notamment les téléphones dernier cri permettant d'accéder à l'Internet, jumelées à une information en temps réel sur les horaires et à la possibilité d'acheter des billets à distance à la dernière minute, réduisent les inconvénients du transport ferroviaire. Par conséquent, les ITO améliorent l'efficacité à la fois du côté de l'opérateur ferroviaire et de celui de l'utilisateur.

2. INTERMODALITÉ ET ACCESSIBILITÉ EN EUROPE

L'amélioration de l'intermodalité est l'un des piliers d'une politique privilégiant les transports durables. La généralisation de la voiture particulière dans toute l'Europe tient notamment à ce que ce mode assure un transport de porte à porte malgré les problèmes associés à la congestion routière et au manque de places de stationnement dans la plupart des zones urbaines. Mais l'utilisation de l'automobile engendre les déséconomies suivantes : blessures ou décès consécutifs aux accidents de la route, temps de parcours improductifs résultant d'accidents et de congestion, dépendance à l'égard de sources d'énergie non renouvelables, dommages et autres effets néfastes associés à la pollution de l'environnement (Jakob *et al.*, 2006). L'un des moyens de pallier ces effets serait de promouvoir les voitures hybrides ou électriques. Une autre stratégie consisterait à encourager le transfert modal de la voiture particulière vers les transports publics. L'idée de base serait de persuader les voyageurs de n'utiliser leur voiture que pour le trajet entre leur domicile et les transports publics, plutôt que de se rendre à leur destination finale. On s'accorde de plus en plus à reconnaître que la mobilité durable implique des systèmes de transport interconnectés qui doivent assurer un service porte à porte (Commission Européenne, 1999). À cet égard, une planification judicieuse de l'intermodalité offre un moyen d'accroître la durabilité des systèmes de transport interurbain de voyageurs. Mieux les ressources pourront être mobilisées et coordonnées de façon intégrée, plus le système de transport dans son ensemble y gagnera en durabilité (Commission Européenne, 2001).

Actuellement, les principaux nœuds des réseaux intermodaux européens sont les gares TGV. Si les obstacles inhérents au réseau ferroviaire proprement dit sont liés à des contraintes environnementales ou physiques, telles que la topographie et le volume de trafic ferroviaire, et sont difficiles à surmonter, ceux qui sont attribuables à une intermodalité sous-optimale des gares TGV relèvent en revanche beaucoup plus de la planification. Il a été déjà démontré qu'il existe une hiérarchie bien établie des gares, dont le statut dépend du rôle que chacune joue au sein du réseau régional, et dont certaines sont exposées à de fortes contraintes qui les empêchent de jouer de façon optimale le rôle de véritable nœud intermodal (Tapiador *et al.* 2009). Dans ce contexte, les ITO peuvent aider à réguler les flux de voyageurs.

Une étude approfondie qui a été réalisée par la Task Force sur l'intermodalité dans les transports a mis en évidence un déséquilibre modal dans le système de transport de l'Union Européenne et recenser les obstacles qui empêchent le développement de services de transport intermodaux porte à porte axés sur l'utilisateur. Dans cette étude, l'efficacité des points de correspondance et des réseaux intermodaux a été retenue comme l'un des principaux domaines d'intérêt dans lesquels il conviendrait d'approfondir les recherches sur l'intermodalité. Entrent également en ligne de compte le manque d'informations et l'impossibilité d'étudier comment certains services sont organisés. Différents outils et méthodes d'évaluation des transferts modaux possibles ont été décrits par Tsamboulas *et al.* (2007), y compris des plans d'action complets qui pourraient être utiles aux décideurs.

Par ailleurs, il existe un lien évident entre l'amélioration de l'intermodalité et celle de l'accessibilité, qu'il faut entendre ici comme étant la facilité avec laquelle un voyageur peut atteindre un endroit, une infrastructure, un aménagement ou une possibilité d'emploi spécifique ou, de façon générale, participer à des activités. Plus l'activité est accessible, moins le voyageur aura d'obstacles à franchir ou de frictions à supporter dans ses déplacements pour l'atteindre. Le terme « accessibilité » désigne aussi la facilité avec laquelle une personne handicapée peut utiliser des services de transport. La différence entre les deux acceptions du terme tient au fait que ce que l'on considère en général comme une cause de friction à l'intérieur du système (par exemple, un escalier à un point de correspondance à deux niveaux) peut constituer un obstacle pour une personne handicapée (s'il n'y a pas d'ascenseur).

En économie et politique des transports, l'accessibilité revêt une grande importance économique et sociale, comme l'a reconnu la Perspective européenne de développement spatial (Commission Européenne, 1999), qui affirme la nécessité d'améliorer l'accessibilité dans les régions d'Europe, afin d'améliorer leur position concurrentielle, mais également la compétitivité de l'Europe dans son ensemble. L'accessibilité influe sur l'avantage que confère une situation géographique par rapport à d'autres. En ce qui concerne les États-Unis, Kuby *et al.* (2004) ont examiné l'importance de l'accessibilité (entre autres facteurs) en termes de nombre d'embarquements aux stations du réseau de métro léger, qu'ils ont jugée considérable. C'est pourquoi des estimations de l'accessibilité ont été utilisées pour chiffrer les avantages que les ménages et les entreprises tirent de l'existence et de l'utilisation d'une infrastructure de transport locale. Il est supposé que les régions qui ont un meilleur accès aux points d'approvisionnement de matières premières et aux marchés seront plus productives, plus concurrentielles et plus prospères que celles qui en sont plus éloignées (Spiekermann, 2005).

3. PROFILAGE DU VOYAGEUR

La modélisation des effets des ITO dans les gares TGV nécessite une indication de la composition et du comportement du public voyageur. Le profilage des voyageurs à partir d'enquêtes comme celle qui est décrite par Burckhart *et al.* (2008) pour la liaison Madrid-Barcelone est utile pour alimenter un modèle paramétrique en informations empiriques pour des études de cas (Figure 1). La part modale est un élément important pour quantifier les effets possibles des ITO sur les déplacements. Par exemple, les usagers du métro et du chemin de fer classique ont moins besoin d'informations en temps réel car ils peuvent se fier à des horaires stables et ont en général des habitudes établies. En revanche, les automobilistes et les usagers de l'autobus et du taxi préféreront peut-être le train aux autres modes de transport possibles s'ils peuvent avoir accès rapidement, à tout moment et n'importe

où, aux horaires, à la billetterie et à l'information d'accès. La proportion de chaque mode dépend de la gare concernée (Figure 2), d'où la difficulté de proposer un quelconque modèle quantitatif global qui pourrait s'appliquer partout. Il faut plutôt élaborer un modèle de type paramétrique qui puisse être adapté et intégrer des données actualisées le cas échéant.

Le motif du déplacement a également son importance dans la construction d'un modèle. Dans l'étude de Burckhart *et al.* (2008), la plupart des parcours étaient liés au travail, avec une majorité de voyages d'affaires (Figure 3). La ventilation modale (Tableau 1) est indispensable pour obtenir des résultats qui seront utiles à la planification, car les effets des ITO sont modulés selon des relations croisées entre le mode de transport concerné et le motif du déplacement.

4. FACTEURS SUR LESQUELS LES ITO PEUVENT AVOIR DE L'INFLUENCE

Les ITO ont des effets directs et induits sur le bien-être ferroviaire. Les effets directs sont ceux qui ont un rapport fonctionnel simple avec les ITO. La fonction proprement dite peut être linéaire ou non linéaire. Les effets induits eux, sont motivés par d'autres variables et/ou découlent de la dynamique interne du modèle.

4.1. Effets directs

4.1.1. Amélioration de l'intermodalité

L'intermodalité est définie par la Commission Économique (2004) comme « une caractéristique d'un système de transport, en vertu de laquelle au moins deux modes différents sont utilisés de manière intégrée pour compléter une chaîne de transport de porte à porte. Les ITO favorisent ces parcours sans rupture en réduisant les temps de correspondance et les incertitudes qui s'y rattachent. Des informations précises sur le stationnement et/ou les possibilités de réserver une place dans un parc de stationnement très fréquenté, la capacité de reprogrammer un déplacement combinant l'utilisation de plusieurs modes de transport (si par exemple une réunion est écourtée), ainsi que de nouveaux outils qui permettent de gérer les retards dus aux encombrements de la circulation, voilà autant d'éléments qui aident les voyageurs à organiser leurs déplacements à partir ou à destination des gares TGV.

4.1.2. Priorités d'action

Les ITO permettent d'accéder à des offres conçues pour combler les creux de la demande. Une tarification intelligente (modulée), qui cible des marchés (le voyageur de dernière minute ou matinal, le retraité ou l'étudiant), créneaux horaires (les trains tardifs) ou saisons (le creux de l'été) spécifiques est maintenant accessible à distance à une large clientèle potentielle.

4.1.3. Informations sur les horaires et la billetterie

L'accès instantané aux horaires concernant plusieurs modes différents aide à concrétiser les projets de voyages. L'information sur les prix incite les consommateurs à faire des choix rationnels quant au mode et au moment de leurs déplacements. Des tarifs flexibles ainsi qu'une interface bien pensée et conviviale facilitent le processus d'achat. La billetterie en ligne et la billetterie intelligente pour les transports publics, des innovations de plus en plus populaires, améliorent le confort des voyageurs. Un exemple de bonne pratique à cet égard nous est donné par le système suisse, où les horaires sont judicieusement coordonnés pour à la fois limiter les temps morts et assurer les correspondances intermodales. Ainsi, par exemple, la correspondance entre train et autocars postaux est coordonnée de façon que les voyageurs puissent atteindre des destinations éloignées sans attente exagérée.

4.1.4. Correspondance intermodale et accessibilité

En ce qui concerne les innovations organisationnelles, il est important d'assurer une transition intermodale en douceur. Indépendamment des impératifs évidents tels que la nécessité d'assurer une accessibilité totale à chaque voyageur, les correspondances doivent être clairement indiquées pour éviter la confusion. Cela s'applique également aux interfaces en ligne.

4.1.5. Émissions de gaz à effets de serre (GES)

L'augmentation du trafic voyageur dans les gares TGV réduit directement la congestion routière et les émissions de carbone. À titre de comparaison, les émissions de CO₂ par habitant associées à un déplacement de 100 kilomètres sont les suivantes : environ 13 kg pour une petite cylindrée, 26 kg pour une grosse cylindrée et 6 kg pour le train. Au niveau international, le chemin de fer permet de réduire sensiblement les émissions de carbone. Le prix actuel par tonne de CO₂ s'établit à environ 12 €

4.2. Effets induits

4.2.1. Capacité d'accueil d'une gare

La capacité d'accueil d'une gare augmente si les temps d'attente diminuent, car l'accélération du flux de voyageurs permet à un plus grand nombre d'utiliser le même espace à des moments différents. On parvient à une utilisation optimale d'une gare TGV par les voyageurs lorsque ceux-ci peuvent facilement changer de mode sans délai ou précipitation, et également faire des transactions économiques pendant le (bref) temps de correspondance. On évite ainsi l'encombrement, l'inconfort, le stress et les risques, ce qui contribue du même coup à donner du voyage en train une image favorable.

4.2.2. Durée moyenne du séjour en gare

L'allongement du temps passé dans une gare TGV réduit à la fois la qualité de vie ressentie et la productivité. L'effet possible sur le chiffre d'affaires des boutiques, et par conséquent sur les loyers, n'est pas linéaire : alors que les voyageurs, s'ils passent un certain temps libre dans une gare, seront tentés d'y faire des achats, leur comportement est parabolique au-delà d'un certain seuil (qui varie en fonction de la gare TGV). Cet effet vient s'ajouter à l'inconfort d'une longue période d'attente et accentue la tendance à éviter la gare en question à l'avenir. Le partage et la diffusion des impressions négatives des voyageurs engendrent également des déséconomies. C'est un fait avéré que certaines

gares TGV sont considérées comme confortables et conviviales, tandis que d'autres ont la réputation d'être inconfortables, mal aménagées, etc. Une implantation « au milieu de nulle part » ou en périphérie, aggravée par un manque exaspérant d'informations sur les correspondances ou les autres possibilités de transport donne une très mauvaise impression de l'intermodalité dans certaines gares TGV européennes.

5. APERÇU QUANTITATIF : UN MODÈLE PARAMÉTRIQUE

Pour se faire une idée de la contribution possible des ITO à l'économie du transport ferroviaire, il est utile de construire un modèle quantitatif qui prenne en compte les facteurs présentés ci-dessus. D'autres méthodes, comme l'analyse par enveloppement des données (AED), ont été appliquées à la modélisation des transports (par exemple, Tapiador *et al.*, 2008), mais la plupart des techniques mentionnées dans la documentation récente nécessitent des données empiriques, qui ne sont pas toujours disponibles dans ce cas.

Le modèle décrit ici est un modèle dynamique qui simule la structure du problème de façon schématique, afin que les complexités du système ne rendent pas le problème impossible à analyser. L'objectif du modèle est de simuler, et non de prédire, les effets des variations des différents paramètres. Les modèles utilisés pour réaliser ces analyses de sensibilité se sont révélés utiles dans plusieurs autres domaines, notamment le changement climatique. Étant donné que ce modèle ne comprend pas de données empiriques, il a été qualifié de « modèle paramétrisé ». Ses résultats sont des projections qui correspondent à un scénario prescrit et les conclusions qui en découlent doivent être considérées comme des estimations des effets possibles des variations des paramètres.

La Figure 4, qui repose sur la modélisation mathématique du problème, illustre les différentes variables et relations. Le modèle part de l'hypothèse qu'il existe un marché captif (les migrants alternants) ainsi qu'un nouveau marché qu'il reste à attirer. Les ITO influent sur les deux marchés et leurs effets sont modulés par des priorités d'action indépendantes, notamment par des décisions stratégiques prises hors du secteur ferroviaire telles que celles qui répondent à des intérêts d'entreprise dans des modèles conjoints aérien-rail. Le partage modal est considéré comme une caractéristique sociale et constitue par conséquent une variable indépendante dans ce modèle. Il a une incidence directe sur le nouveau marché, en amenant de nouveaux usagers, mais il se fait sentir également sur les émissions de gaz à effet de serre (GES), en contribuant à la réduction de l'utilisation de l'automobile.

L'analyse utilisée dans le modèle se présente sous la forme d'équations différentielles couplées variables dans le temps. Le modèle est appliqué à des périodes annuelles complètes, avec des conditions initiales légèrement différentes, produisant un vaste ensemble de trajectoires. Cette procédure est réputée rendre compte de la sensibilité aux conditions initiales dans des systèmes dynamiques. On fait ensuite la moyenne de l'ensemble ainsi obtenu, qui indique le comportement moyen du système, ce comportement étant la variable utilisée pour dégager les conclusions sur le plan de l'action. La dispersion des membres de l'ensemble est plus faible que la variabilité interne du modèle.

Les variables du modèle sont mises en relation par diverses fonctions linéaires et non linéaires. La courbe effective de chaque fonction est déduite d'observations, pour certaines, ou découle d'une hypothèse lorsqu'il n'est pas possible d'extraire facilement des données empiriques. Ainsi, par exemple, la variable du nouveau marché est modélisée comme une fonction de la fonction linéaire des innovations technologiques avec pour valeur [0.1] et de la fonction linéaire du partage modal, se situant également entre [0.1] modulées par une fonction de variations saisonnières. Les autres variables, telles que les effets de « surpeuplement », sont considérées comme non linéaires et modélisées comme telles. Par conséquent, on utilise une fonction sigmoïde normalisée pour les déséconomies d'agglomération, car on suppose qu'au-delà d'un certain seuil, les effets négatifs se stabilisent.

Les variables d'accessibilité utilisées dans le modèle sont les suivantes : la variable *capacité de la gare*, qui englobe des variables d'accessibilité et d'intermodalité telles l'entropie intermodale et le temps intermodal global (Tapiador *et al.*, 2009) ; le *partage modal* est considérée comme un effet distinct, car il est soumis aux variations de la demande. S'agissant des ITO, l'information sur les horaires et la billetterie ainsi que les possibilités d'achat en ligne sont normalisées dans le modèle. Ces facteurs influent à la fois sur le marché du transport de voyageurs et l'exploitation des gares TGV, en réduisant la confusion et l'encombrement (Lam *et al.* 1999). Cette variable dépend également de la capacité d'accueil de la gare TGV en question ainsi que de la durée moyenne de séjour dans la gare, qui lui-même dépend également des ITO. On estime qu'une réduction de la durée moyenne du séjour des voyageurs dans la gare a pour effet de réduire légèrement les dépenses de ces derniers sur place. Il s'agit là cependant d'une simplification, car les boutiques auraient tendance à réagir à la réduction de durée en adaptant leur offre. Et encore là, l'effet global serait relativement faible dans le cadre de la modélisation interannuelle effectuée.

Les profils saisonniers des marchés nouveaux et captifs sont également pris en compte pour modéliser les périodes de congés et de travail, sans les pauses-déjeuner, qui sont une caractéristique des habitudes estivales des fonctionnaires de l'État espagnol. Les postes fractionnés modifient le comportement du modèle, mais n'ont qu'un effet limité sur les agrégations quotidiennes. Ce profil hebdomadaire est explicitement pris en compte dans le modèle par l'adjonction d'un élément stochastique. Le profil saisonnier est modélisé par segmentation.

Même des modèles aussi simples que celui qui est décrit ici fournissent une information abondante sous forme de graphes de sensibilité, de scénarios et de paramétrisations possibles des variables considérées. Il convient d'analyser les résultats en gardant présent à l'esprit le problème envisagé. Le nœud du problème de la modélisation consiste à maintenir un équilibre délicat entre les effets bénéfiques d'une augmentation de la fréquentation et les déséconomies qui pourraient y être associées.

Parmi les nombreux autres effets possibles qui peuvent être étudiés, on peut citer le couplage entre les changements de phase et les ITO, ainsi que la saturation probable du marché. L'application de cette analyse à des situations réelles exigerait une connaissance précise de l'évolution des variables concernées dans le temps, connaissance que l'on pourrait acquérir par des enquêtes ou des études spécialisées sur des gares TGV clés.

6. RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

Étant donné le caractère stochastique des cycles hebdomadaires et saisonniers, des simulations d'ensemble ont été réalisées pour caractériser le comportement moyen du système. L'utilisation de techniques d'ensemble se justifie pour pallier la sensibilité aux conditions initiales en appliquant un modèle dans de nombreuses conditions initiales légèrement différentes. Étant donné que les systèmes dynamiques non linéaires sont hautement sensibles à ces conditions, on obtiendra ainsi une série de prévisions différentes, indépendamment de la proximité des conditions initiales les unes par rapport aux autres (Tapiador et Gallardo 2006). Les résultats des simulations font alors ressortir l'effet des ITO pour un certain nombre de cycles probables, les valeurs moyennes traduisant la dynamique effective. Les analyses de sensibilité qui font appel à la matrice jacobienne du modèle (linéarisé) peuvent alors être utilisées pour retracer les effets de chaque choix.

Le modèle a été appliqué à plusieurs combinaisons d'utilisations possibles d'ITO. Compte tenu des données d'entrée, les résultats peuvent être considérés comme l'application d'une série de mesures visant à améliorer le confort et le bien-être des voyageurs dans une situation canonique. Les données empiriques indiquent que les différences en ce qui concerne l'accessibilité et la demande de TGV sont étroitement corrélées. Les gares dont l'accessibilité et l'intermodalité sont faibles sont les moins fréquentées, tandis que celles qui offrent de bonnes correspondances accueillent un public voyageur nombreux. La relation n'est toutefois pas simple, car la taille physique de certaines gares TGV a été déterminée en fonction du trafic prévu. Dans le modèle présenté ici, l'accessibilité, l'intermodalité et l'ampleur des impacts des ITO par rapport au coût généralisé du transport sont étroitement liées aux hypothèses posées, mais il est possible d'en tirer certaines conclusions générales. En élaborant les résultats en termes d'action des pouvoirs publics, qualitatifs, plusieurs questions se posent.

La mise en œuvre des technologies de l'information coûte considérablement moins que l'infrastructure ou l'amélioration de l'accessibilité et de l'intermodalité. Les voyageurs qui utilisent ces technologies sont par définition « connectés » et deviennent des « nœuds » d'innovations. Les innovations organisationnelles sont aussi relativement moins coûteuses, mais ont des effets multiplicateurs. Par conséquent, sachant que le modèle présenté ici ne permet pas de chiffrer ces effets, les avantages des ITO pour le transport ferroviaire sont non linéaires. Un euro investi dans les ITO (y compris l'effet de la publicité) devrait produire un effet plus sensible sur la demande que le même euro investi dans d'autres branches du secteur. La Figure 5 illustre le résultat de la simulation pour une année, une fois les ITO mis en œuvre. On observe une croissance légèrement exponentielle de la fréquentation, ce qui est révélateur d'effets cumulatifs.

Toutes choses étant égales par ailleurs, l'effet net d'un accroissement ou d'une amélioration des ITO est positif pour le bien-être. Les incidences sur le partage modal indiquent un effet cumulatif sur l'économie du changement climatique. Des synergies émergent lorsque les clients satisfaits font connaître les avantages du voyage en train. Les éléments de non-linéarité au sein du modèle produisent une rétro-information qui tend à confirmer que l'une des options les plus efficaces serait de favoriser le partage modal. Pour ce faire, un certain nombre de mesures sont possibles : aménager des déposes rapides gratuites ; réduire ou supprimer les frais de stationnement pour les migrants alternants ;

appliquer des tarifs spéciaux pour les voyages d'affaires (par exemple en proposant un billet combiné parking-train). Une autre mesure serait de réserver des espaces de stationnement gratuits aux voitures électriques et de prévoir des postes de charge solaire pour ces véhicules. Ce type d'innovation organisationnelle contribuera à réduire encore les émissions de carbone, à améliorer l'intermodalité et à réduire la congestion routière.

Le modèle ne prend, entre autres, pas en compte les mesures qui profiteraient aux économies urbaines. Il est anormal qu'il y ait, dans des gares, des espaces de stationnement vides, alors que les voitures de migrants alternants encombrant les rues avoisinantes. De telles mesures ne feraient que transférer les coûts aux autorités municipales et aux riverains, avec les risques et les réclamations d'assurance accrues qui s'y rattachent. La réduction de la congestion dans les zones riveraines des gares TGV améliore leur centralité et permet de maîtriser l'embourgeoisement du quartier. Les avantages qu'offrent les ITO pour réduire le stress et l'inconfort des voyageurs, pour promouvoir de nouvelles valeurs (équilibre entre vie de famille et vie professionnelle), et pour accroître la sécurité et la sûreté des personnes (l'argent n'intervient pas dans les transactions téléphoniques, les voyages en train comportent neuf fois moins de risques d'accidents que l'automobile, etc.) montrent l'importance des ITO pour l'avenir du transport interurbain de voyageurs.

BIBLIOGRAPHIE

- Burckhart, K., Martí-Henneberg, J. et Tapiador, F.J. 2008. Cambio de hábitos y transformaciones territoriales en los corredores de alta velocidad ferroviaria. Resultados de una encuesta de viajeros en la línea Madrid-Barcelona. *Scripta Nova*, vol. XII, 270.
- Commission Européenne, 1999. Task Force « Intermodalité dans les transports ». <http://cordis.europa.eu/transport/src/taskforce/home.html>
- Commission Européenne, 2001. COST 340. Vers un réseau de transports européens intermodal : les leçons de l'histoire. <http://www.cordis.lu/cost-transport/src/cost-340.htm>
- Commission Européenne, 2004. Vers une intermodalité des transports des passagers dans l'Union Européenne. Rapport 1, Dortmund.
- Jakob, A., Craig, J.L., Fisher, G., 2006. Transport cost analysis: a case study of the total costs of private and public transport in Auckland. *Environmental Science & Policy* 9, 55–66.
- Kuby, M., Barranda, A., Upchurch, C., 2004. Factors influencing light-rail station boardings in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 38 (3), 223–247.
- Menéndez, J.M., Coronado, J.M., Guirao, B., Rodríguez, F.J., Ribalaygua, C., Rivas, A. et Ureña, J.M., 2006. *Diseño, dimensión óptima y emplazamiento de estaciones de alta velocidad en ciudades de tamaño pequeño*. Cuadernos de Ingeniería y Territorio, 7.
- Lam, W.H.K., Cheung, C.-Y., Lam, C.F., 1999. A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 33 (5), 401–415.
- Spiekermann, K., 2005. Transport and accessibility in Europe. Interreg North Sea Programme & North Sea Commission. In: Joint Annual Conference, Vlissingen, 15 juin 2005.
- Tapiador, F.J., Mateos, A. et Martí-Henneberg, J. 2008. The Geographical Efficiency of Spain's Regional Airports: a Quantitative Analysis. *Journal of Air Transport Management*, 14, 205–212.
- Tapiador, F.J., Gallardo, C., 2006. Entropy-Based Member Selection in a GCM Ensemble Forecasting. *Geophysical Research Letters*, vol. 33, L02804.
- Tapiador, F.J., Burckhart, K. et Martí-Henneberg. 2009. Characterizing European High-Speed Train Stations using Intermodal Time and Entropy Metrics. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43, 197–208.

Tsamboulas, D., Vrenken, H., Lekka, A.M., 2007. Assessment of a transport policy potential for intermodal mode shift on a European scale. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 41 (8), 715–733.

UITP, 1994. *Location and design of interchanges – rail, bus and car*, Bruxelles.

UITP, 2003. *A one-stop approach to mobility: the challenge of integration*, Bruxelles.

Vägverket, 2004. *Trafik för en attraktiv stad*, Stockholm, p. 212.

LÉGENDES DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1. Partage modal à la gare TGV Madrid-Atocha (données de Menéndez *et al.*, 2006)

Figure 2. Partage modal à la gare TGV ; analyse de Burckhart *et al.* 2008

Figure 3. Temps d'accès à la gare TGV ; analyse de Burckhart *et al.* 2008

Figure 4. Vue théorique du modèle quantitatif.

Figure 5. Hypothèses de dispersion hebdomadaire.

Figure 6. Évolution estimative du bien-être dans un scénario prescrit. L'abscisse indique le jour de l'année qui suit la mise en œuvre des ITO ; l'ordonnée, l'évolution du trafic voyageurs (unités arbitraires).

Tableau 1. Relations croisées entre modes et motifs de déplacement (exprimé en pourcentage, d'après Burckhart *et al.*, 2008)

Figure 1. Partage modal à la gare TGV Madrid-Atocha (données de Menéndez *et al.* 2006)

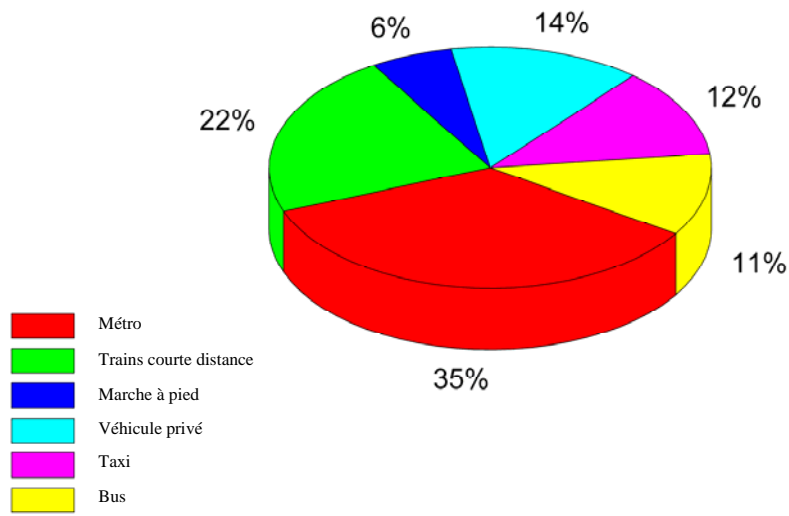


Figure 2. Partage modal à la gare TGV ; analyse de Burckhart *et al.* 2008

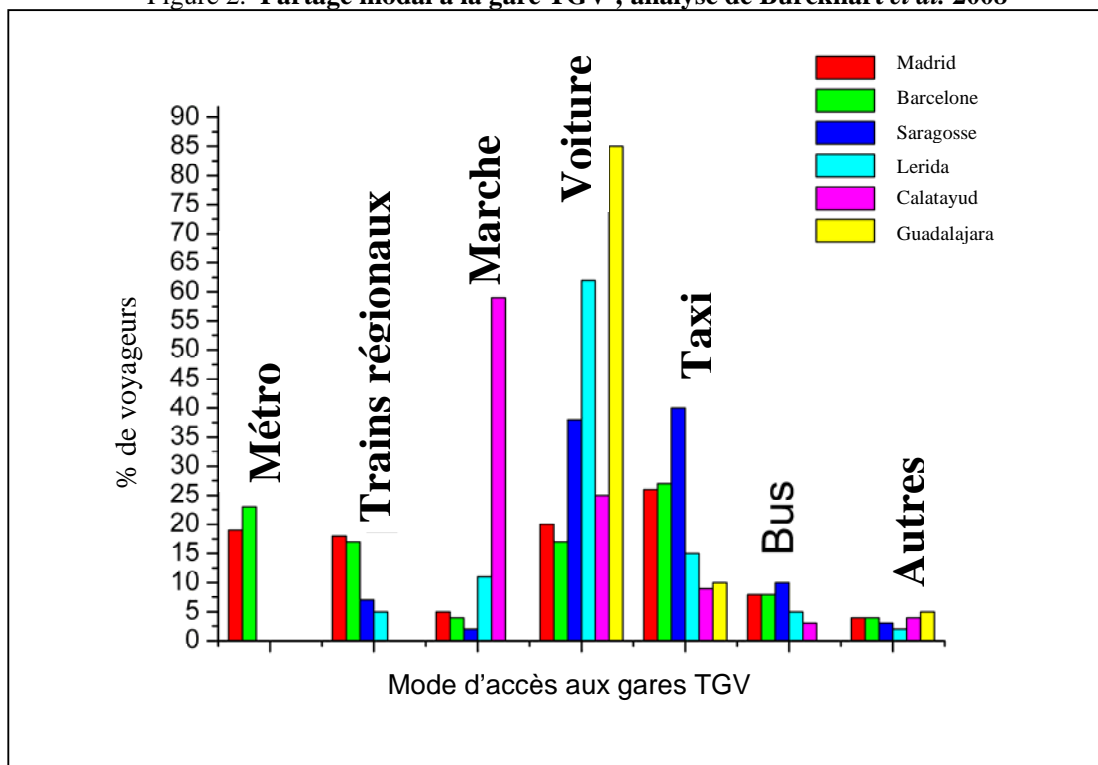


Figure 3. Temps d'accès à la gare TGV ; analyse de Burckhart *et al.* 2008

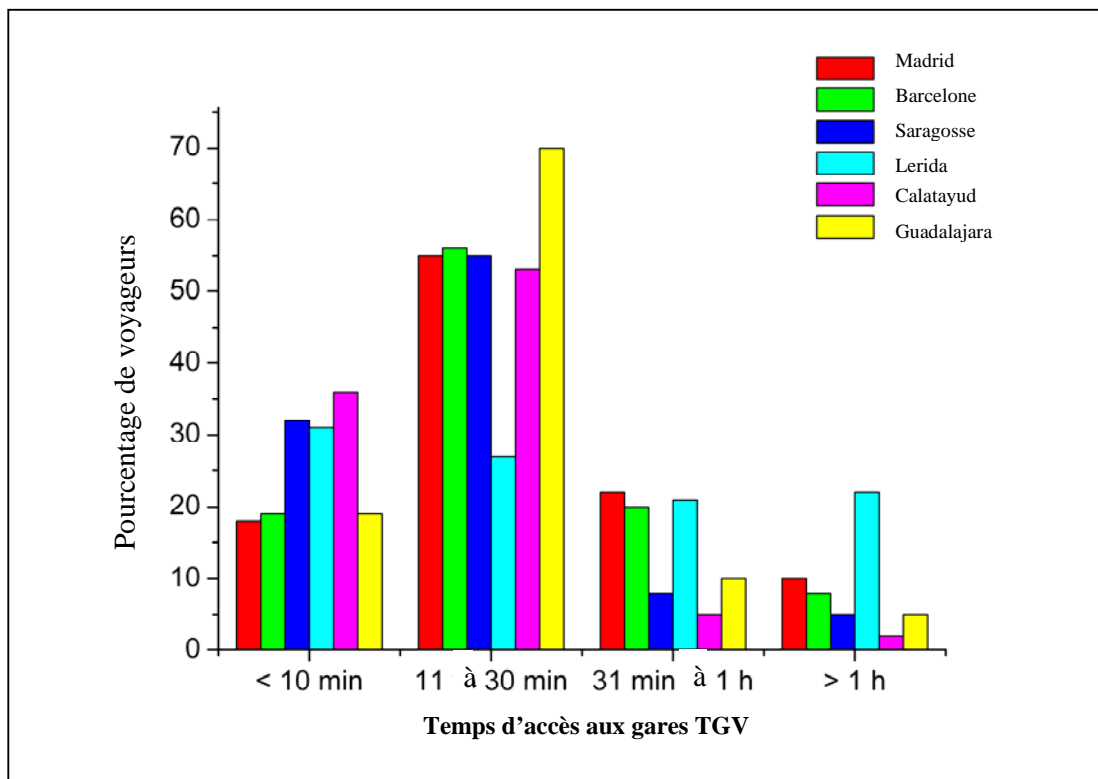
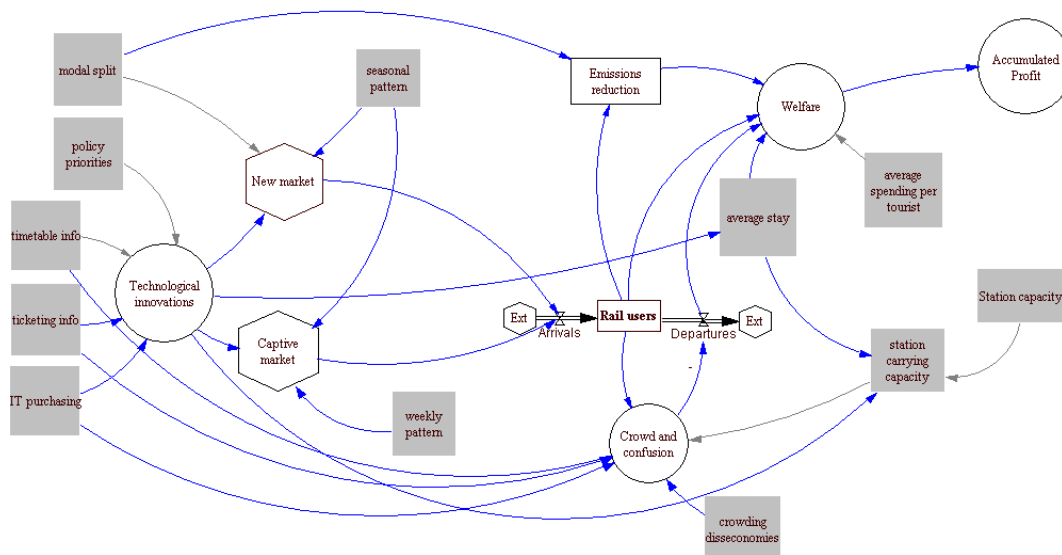


Figure 4. **Vue théorique du modèle quantitatif**



partage modal / priorités d'action / information horaires / information billetterie / achats en ligne

Innovations technologiques

Nouveau marché / Marché captif

Variations saisonnières / Variations hebdomadaires

Réduction des émissions

Usagers des chemins de fer

Arrivées Départs

Encombres et confusion

Déséconomies dues à l'encombrement

Durée moyenne du séjour en gare

Bien-être

Dépenses moyennes par voyageur

Capacité de la gare

Profits cumulatifs

Capacité d'accueil de la gare

Figure 5. Évolution estimative du bien-être dans un scénario prescrit.
L'abscisse indique le jour de l'année qui suit la mise en œuvre des ITO ;
l'ordonnée, l'évolution du trafic voyageurs (unités arbitraires)

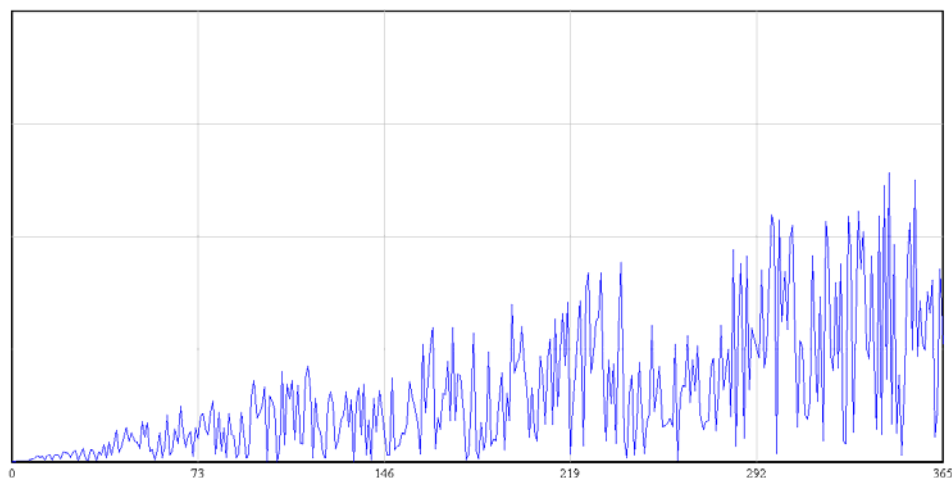


Tableau 1. Relations croisées entre modes et motifs de déplacement
(exprimées en pourcentage, d'après Burckhart *et al.* 2008)

	<i>Motif du déplacement</i>							
	Travail	Affaires	Tourisme	Autres	Familial	Éducation	Santé	Total
Voiture	7.1	15.7	4.0	1.0	5.3	0.9	0.4	34.5
Taxi	6.3	12.3	3.8	0.8	4.5	0.4	0.3	28.5
Bus	0.9	1.7	1.1	0.3	2.0	0.2	0.2	6.4
Autres	0.7	1.6	0.5	0.2	0.4	0.1	0.0	3.5
Train régional	2.0	2.7	2.0	0.6	3.0	0.2	0.1	10.5
Métro	1.3	2.8	1.7	0.5	2.2	0.3	0.1	8.9
Marche	2.0	2.8	1.0	0.2	1.4	0.2	0.1	7.7
Total	20.3	39.6	14.1	3.5	18.9	2.4	1.2	100