

***LES DIFFERENTIELS D'ACCESSIBILITE
DES VILLES MOYENNES EN FRANCE***

Accessibilité routière
et approche multimodale : route et fer

Nadine CATTAN
Claude GRASLAND
CNRS-URA 1243 - Equipe P.A.R.I.S.

Pilotage : *André* PENY (DRAST N° 97 - MT 06) - septembre 1998

Objectifs

Evaluer les différentiels d'accessibilité des villes moyennes françaises (20-50 000 habitants) en fonction

- des modes de transport terrestre -- routier, ferroviaire ou multimode.
- des différents types de destination -- capitale régionale, ville de niveau supérieur, aéroport international, université.

L'objectif du volume 1 est d'évaluer l'efficacité du réseau routier pour les villes moyennes --quelles sont les villes moyennes les plus désavantagées ?-- et de définir un cadre théorique général de mesure de l'accessibilité --quelles sont les caractéristiques structurelles qui permettraient de modéliser les temps de trajet routier ?.

L'objectif du volume 2 est de comparer, pour les villes moyennes, d'une part l'avantage de chacun des modes de transport terrestre et d'autre part l'avantage d'une combinaison multimodale par rapport à un déplacement unimodal. Dans quelle mesure le multimodal permet aux villes moyennes de réduire leurs désavantages face aux plus grandes ?

Méthodologie

Le volume 1 s'appuie sur les méthodes statistiques et cartographiques classiques d'une part, les techniques d'analyse spatiale et de modélisation d'autre part. Un modèle de régression poissonienne est utilisé pour définir les paramètres de la relation entre temps de trajet, distance euclidienne, taille des villes d'origine et de destination et effets d'appartenance régionale. La matrice des temps routiers fournie par le M.E.T.L. a été couplée avec la base de données sur les villes françaises de l'équipe P.A.R.I.S-CNRS.

Le volume 2 se fonde sur un modèle de calcul des plus courts chemins multimodaux (avec pénalités aux points de rupture) mis au point par les auteurs du rapport et implémenté par des chercheurs en informatique du LMC-IMAG (Grenoble). Ce modèle, qui reste encore dans une large mesure prospectif, a permis de déterminer pour l'ensemble des villes françaises de plus de 20 000 habitants les itinéraires optimaux en temps par la route, le fer ou leur combinaison multimodale. La matrice des temps routiers du M.E.T.L. a été couplée avec la matrice des temps et des fréquences ferroviaires du C.E.S.A-Tours.

Résultats

Les déficits d'accessibilité des villes moyennes françaises sont, pour une part, la conséquence logique des règles de fonctionnement des systèmes urbains et des réseaux de transport. Ces règles ont permis de modéliser trois séries de régularités dans l'évaluation de la performance du réseau routier :

- Les réseaux routiers sont plus efficaces à grande distance.
- A distance égale, ils sont plus performants entre deux grandes villes.
- Les réseaux entre deux villes appartenant à une même région sont meilleurs qu'entre deux villes appartenant à deux régions différentes.

Au-delà de ces régularités d'ensemble, des inégalités spatiales ont révélé un sous-équipement manifeste des villes moyennes de certaines parties du territoire, notamment le Sud-Ouest et le Massif Central.

L'analyse combinée des réseaux routiers et ferroviaires n'améliore pas les positions relatives des villes moyennes. On a montré que :

- Le transport ferroviaire accroît les inégalités d'accessibilité au profit des plus grandes villes.
- La combinaison multimodale fer-route ne procure généralement que des gains d'accessibilités minimales aux villes moyennes
- Trois grands itinéraires multimodaux procurent, aux villes moyennes, des gains de temps significatifs par rapport au transport unimodal. S'effectuant cependant à grandes distances, ces solutions sont-elles viables face à la concurrence du transport aérien ?

Sont reproduits ci-après les chapitres 1.2, 2, 3 et conclusion du volume 2 du rapport général.

1.2. Les hypothèses de modélisation et de simulation des itinéraires multimodaux Fer-Route

1.2.1. Multimodalité et portées géographiques : un problème de définition épineux

Pour simple qu'elle soit en apparence, la définition du transport multimodal comme « *utilisation successive de plusieurs modes de transport au cours d'un même trajet* » soulève de nombreuses difficultés et peut être source d'ambiguïté lorsqu'on essaye de l'appliquer à des situations concrètes. Les deux principales difficultés tiennent au **choix d'une catégorisation des transports** (comment justifier les regroupement de moyens de transport à l'intérieur d'un même mode ? Quelle est leur influence sur les résultats ?) et au **choix du seuil d'apparition de la multimodalité** (car s'il est exceptionnel que 100% d'un déplacement s'effectue à l'aide d'un seul mode, peut-on considérer comme multimodal un déplacement où 95% du temps et de la distance se sont réalisés à l'aide du même moyen de transport ?). On peut illustrer ces deux problèmes à l'aide d'un exemple vécu qui montre bien toutes les ambiguïtés de la notion de multimodalité.

L'un des auteurs de ce rapport ayant dû récemment se rendre de son domicile de la banlieue sud-est de Paris à un colloque qui s'est tenu à l'Université Rennes 2 est parti de son domicile à 6h15, s'est rendu à pied de son domicile à la gare de Sucy-Bonneuil (6h30), puis a emprunté successivement le RER jusqu'à Châtelet (7h10), le métro jusqu'à la gare Montparnasse (7h30), a pris un TGV à 7h45 qui l'a conduit en gare de Rennes à 9h48 et enfin a pris le bus jusqu'au campus de Villejean (situé au NE de l'agglomération rennaise) où il a atteint sa destination vers 10h30.

Par rapport à une **catégorisation** des transports selon les modes individuels et collectifs (ou privé et public), il s'agit d'un trajet unimodal. Mais si l'on adopte une catégorisation opposant les modes routier et ferroviaire, il s'agit d'un trajet multimodal puisque le dernier tronçon s'est fait sur route (autobus) alors que les précédents s'étaient effectués sur rail (on négligera les déplacements pédestres).

Le problème du **seuil d'apparition de la multimodalité** concerne quant à lui la part des différents moyens de transport utilisés successivement au cours du déplacement. Il semble en effet raisonnable de considérer qu'un déplacement est unimodal si la majeure partie du déplacement est effectuée à l'aide d'un seul moyen de transport. Mais retiendra-t-on un seuil de 50%, 75%, 90% ou 95% pour considérer qu'un trajet est unimodal ? Et de surcroît, raisonnera-t-on par rapport au temps de déplacement ou par rapport au kilométrage ? Dans l'exemple précité, le mode TGV représente environ 90 % du kilométrage parcouru, mais le temps passé à l'intérieur de celui-ci n'est que de 2 heures sur les 4 heures et quart qui ont été nécessaires pour se rendre de l'origine à la destination, soit moins de 50 %.

Dans le cas particulier qui nous occupe, celui d'une étude sur l'accessibilité des villes françaises, il est toutefois possible de proposer une définition à la fois objective et pertinente de la multimodalité. En effet, l'objet de l'analyse étant l'étude des relations *interurbaines*, on considérera que le trajet d'une ville A à une ville B est multimodal s'il comporte un passage par une troisième ville C, tel que les modes de transport sur les tronçons AC et BC soient différents. Les changements éventuels de mode liés aux déplacements intra-urbains ne sont pas pris en compte et la multimodalité ne concerne que les segments interurbains du déplacement du voyageur.

Un premier inconvénient de cette définition est d'imposer que tout changement de mode s'effectue à l'intérieur d'une agglomération de plus de 20 000 habitants et d'exclure les rabattements routiers qui pourraient s'opérer vers des gares localisées dans une ville trop petite pour avoir été retenue dans l'étude (ex. gare TGV de Vendôme).

Un second inconvénient, inverse du précédent, concerne les très grandes agglomérations (Paris, Lyon, Marseille) pour lesquelles les déplacements intérieurs peuvent atteindre des distances conséquentes mais ne sont pas pris en compte. Ainsi, un individu qui se rendrait de Mantes-la-Jolie à Paris en voiture pour ensuite prendre le train vers Lille ne sera pas considéré, dans notre étude, comme effectuant un trajet multimodal puisque Mantes-la-Jolie fait partie depuis 1990 de l'agglomération parisienne. En revanche, si un autre individu effectue le même déplacement depuis Melun (guère plus éloigné que Mantes mais non rattaché à l'agglomération parisienne) il sera supposé avoir effectué un déplacement multimodal empruntant successivement la route et le fer.

Ces deux problèmes demeurent toutefois limités à un nombre de cas très réduit et ils ne devraient pas biaiser de façon excessive les résultats en raison de la taille de l'échantillon étudié (relations entre 208x208 agglomérations).

1.2.2. Discussion des combinaisons multimodales fer-route possibles

Sachant que les trajets ferroviaires relevés dans la base du C.E.S.A. peuvent comporter jusqu'à deux correspondances, nous avons exclu de l'analyse les combinaisons multimodales complexes impliquant plus de deux passages du rail à la route. Nous avons également exclu la séquence Fer-Route-Fer qui, quand bien même elle procurerait un avantage sur un itinéraire, semble totalement utopique. Au total, nous avons donc retenu **trois situations potentielles de combinaison multimodale** du transport routier et du transport ferroviaire qui pourraient éventuellement être retenue par un individu pour effectuer un déplacement entre deux villes : Route-Fer (RF), Fer-Route (FR) et Route-Fer-Route (RFR).

- ⇒ **La combinaison multimodale Route-Fer (RF)** est sans doute celle qui vient la première à l'esprit puisqu'elle correspond à la situation d'un individu qui quitte son domicile avec sa voiture personnelle et doit atteindre une gare importante localisée dans une autre ville que celle où il réside. Soit, par exemple, un habitant d'Alès qui rejoint par la route Nîmes, Avignon ou Valence pour prendre ensuite un TGV qui le mènera à Paris, Lille ou Rennes, toutes villes qu'il aurait mis beaucoup plus de temps à atteindre s'il s'y était rendu uniquement par la route ou par le rail.
- ⇒ **La combinaison multimodale Fer-Route (FR)** vient moins spontanément à l'esprit et paraît plutôt réservée aux déplacements professionnels puisqu'elle implique le recours à une voiture à la fin du parcours et non pas au début. Soit, par exemple un cadre lillois pressé qui doit traiter une affaire à Lons-le-Saulnier et décide de prendre le TGV jusqu'à Mâcon ou Le Creusot puis de louer une voiture dans une agence pour effectuer le trajet final qui serait beaucoup trop long par le fer uniquement. Pourtant, ce cas de figure n'implique pas nécessairement la location d'un véhicule et peut tout aussi bien concerner des déplacements non professionnels : par exemple dans le cas fréquent où des amis ou de la famille viennent chercher les voyageurs en voiture dans une gare mieux desservie que la ville de destination. Plus généralement, *les motifs des solutions RF ou FR sont interchangeables dans la mesure où le voyageur effectue presque toujours des trajets aller et retour selon le même itinéraire.*
- ⇒ **La combinaison multimodale Route-Fer-Route (RFR)** est *a priori* beaucoup plus improbable que les deux précédentes puisqu'elle implique au moins deux correspondances, en plus de celles qui peuvent apparaître dans le trajet ferroviaire proprement dit. Même si l'on

fait abstraction de la gêne que ces ruptures occasionnent au voyageur, les itinéraires RFR apparaissent généralement peu rentables en terme d'accessibilité pure dans la mesure où les temps de correspondance grèvent fortement la performance globale, c'est-à-dire le temps général de parcours. Soit par exemple une personne souhaitant se rendre de Hazebrouck à Carpentras où elle va passer les vacances chez des amis : elle peut se rendre en voiture ou en bus à la gare TGV de Lille, puis prendre un train direct pour Avignon où ses amis l'attendent avec leur voiture pour l'emmener à Carpentras. Cette solution est beaucoup plus rapide et beaucoup moins fatigante qu'un trajet unimodal par la route ou même par le rail qui peut impliquer des délais de correspondance importants. Il est cependant fort possible que des trajets multimodaux plus simples (RF ou FR) s'avèrent aussi performants et soient préférés par le voyageur car ils sont moins compliqués.

1.2.3. Deux modèles d'estimation des accessibilités multimodales

Même en négligeant les aspects psychologiques ou sociologiques du choix d'un mode de transport et en se plaçant dans une hypothèse d'accessibilité « pure », il est assez difficile de proposer une quantification simple des temps de parcours multimodaux prenant en compte les pertes de temps inévitables au moment des correspondances, l'influence des fréquences ferroviaires, la dissymétrie entre correspondances RF et FR, etc. Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de proposer deux simulations différentes des temps de relation multimodaux entre les villes, afin de pouvoir examiner la sensibilité des résultats obtenus aux hypothèses de modélisation.

Le modèle 1, est celui d'un individu cherchant à minimiser par tous les moyens son temps de transport et visant, si l'on peut dire, à battre le record de vitesse entre deux villes sans se préoccuper des moyens et de l'heure. Dans cette hypothèse on suppose que la fréquence des trains n'a aucune importance et que l'individu choisit toujours la liaison ferroviaire la plus rapide au cours d'une journée. Quant aux correspondances Fer-Route ou Route-Fer, elles sont réduites au minimum soit 10 minutes dans le sens FR et 20 minutes dans le sens RF (pour tenir tout de même compte du délai de précaution). La taille de la ville où s'opère ces correspondances est supposée n'avoir aucune importance, le voyage s'effectuant à un moment où la circulation est parfaitement fluide.

Equations du modèle 1

$$\begin{aligned} T_{ij}^F &= T_{ij}^{F-\min} \\ T_{ij}^{RF} &= \min_w [T_{iw}^R + 20 + T_{wj}^F] \\ T_{ij}^{FR} &= \min_w [T_{iw}^F + 10 + T_{wj}^R] \\ T_{ij}^{RFR} &= \min_{w,z} [T_{iw}^R + 20 + T_{wz}^F + 10 + T_{zj}^R] \end{aligned}$$

Le modèle 2, essaye d'introduire dans la modélisation un nombre plus élevé de facteurs afin de mieux décrire les situations concrètes où peut s'opérer le choix des voyageurs.

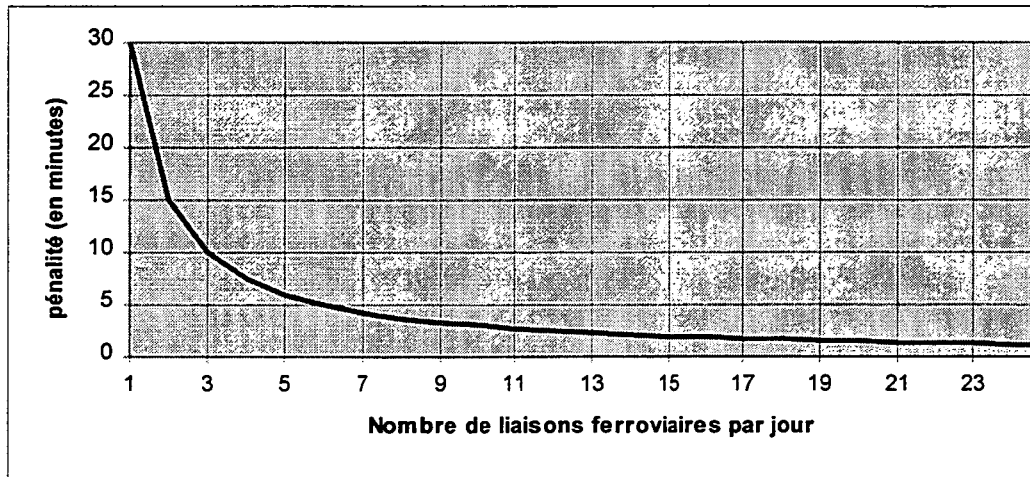
- ➔ On commence par introduire une pénalité sur les trajets ferroviaires, proportionnelle au nombre de liaisons. Ceci permet de tenir compte du fait que le voyageur n'a pas toujours le choix de l'heure de son départ et qu'une fréquence élevée rend une liaison attractive en abaissant les contraintes horaires. En notant $T_{ij}^{F-\min}$ le meilleur temps ferroviaire entre deux villes et N_{ij}^F le nombre de liaison ferroviaires diurnes, on peut proposer une estimation¹ du temps de trajet ferroviaire T_{ij}^F à l'aide d'une fonction de type :

¹ Une autre solution aurait consisté à prendre les *temps moyens* sur l'ensemble des liaisons diurnes entre deux villes. Mais elle aurait eu l'inconvénient de favoriser certains itinéraires où il existe une seule bonne liaison au détriment d'autres où il existe un nombre élevé de bonnes mais aussi de mauvaises liaisons. Le programme du CESA peut en effet détecter des itinéraires « exotiques » qui, possibles mais hautement improbables, faussent le calcul des temps moyens de relation.

$$T_{ij}^F = T_{ij}^{F-\min} + a / (N_{ij})^b$$

Le paramètre a indique la pénalité maximale encourue par une liaison ne disposant que d'une seule liaison et le paramètre b le taux de réduction de cette pénalité en fonction du nombre de liaison. En fixant la paramètre a à 30 minutes et le paramètre b à 1, on obtient un modèle où une liaison comportant 2 services par jour subirait une pénalité de 15 minutes, une liaison comportant 10 services par jour subirait une pénalité de 3 minutes (*Figure 1-1*)

Figure 1-1 : Pénalités subies par le fer en fonction du nombre de liaisons dans le modèle 2



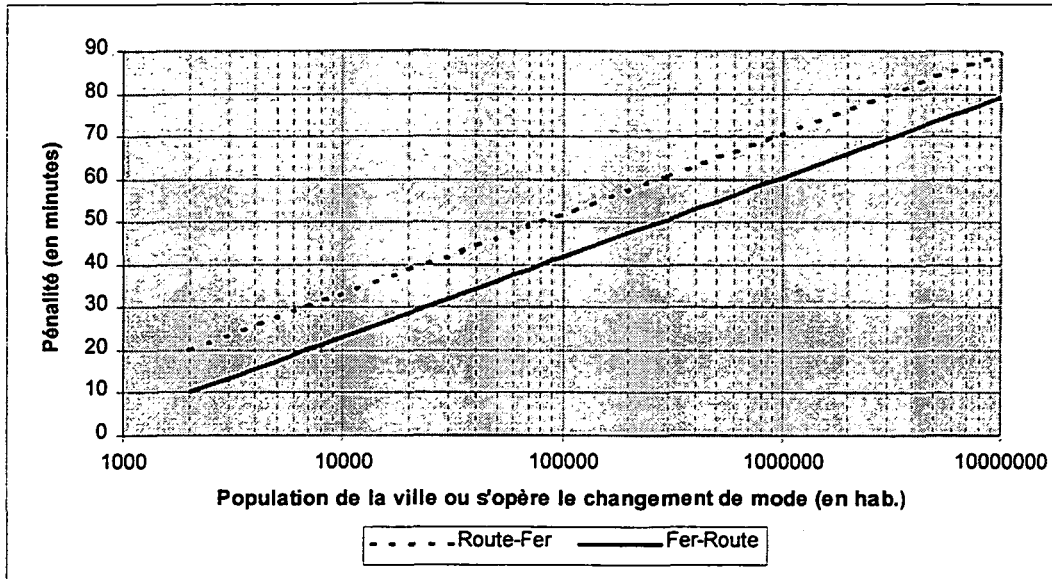
Ces valeurs de pénalité sont sans doute relativement faibles, mais elles sont suffisantes pour modifier sensiblement les destinations de rabattement et éviter que de petites gares ne disposant que d'une ou deux bonnes liaisons par jour captent le trafic multimodal aux dépens de villes plus importantes disposant d'un nombre de liaisons plus conséquent. Il serait par ailleurs gênant d'introduire des pénalités trop importantes sur le transport ferroviaire car on donnerait alors un avantage excessif au mode routier où les phénomènes de congestion et de saturation ne sont pas pris en compte.

- On introduit également une pénalité de changement de mode proportionnelle à la taille de la ville où s'opère le changement de mode. Il est en effet raisonnable de penser que les délais de précaution du voyageur et les temps nécessaires à toute rupture de charge et changement de mode augmentent généralement avec la taille de la ville où s'opère le transbordement du voyageur. Si par exemple un voyageur en provenance de Bretagne par le TGV décide de louer une voiture pour se rendre à Nantua, il a sans doute plus intérêt à descendre à Villefranche-sur-Saône qu'à Lyon-Perrache s'il veut éviter les embouteillages du centre-ville lyonnais. Les avantages des gares situées dans les grandes métropoles (fréquence de trains) doivent en effet être contrebalancés par les phénomènes de congestion et de saturation qu'elles subissent. Toutefois on ne dispose pas d'études empiriques systématiques sur la relation entre le temps de changement de mode et la taille des villes. Aussi, nous avons choisi d'utiliser des fonctions paramétriques permettant de fournir une estimation approximative du phénomène. Partant d'une pénalité fixe de 20 minutes pour les correspondances RF et de 10 minutes pour les correspondances FR on ajoute une pénalité variable qui est fonction de la population P_w de la ville où s'opère le changement de mode. En supposant que cette pénalité variable est nulle pour une ville de 2000 habitants et de l'ordre de 50 minutes pour une ville de la taille de Lyon, on propose la fonction non linéaire suivante pour estimer les temps de correspondance Fer-Route ou Route-Fer via une ville k de population P_k .

$$T^{FR}(k) = 20 + [8.11 \ln (P_k/2000)]$$

$$T^{RF}(k) = 10 + [8.11 \ln (P_k/2000)]$$

Figure 1-2 : Pénalités subies par les trajets multimodaux en fonction de la population de la ville où s'opère le changement de mode



La Figure 1-2 résume les pénalités globales (fixe+variable) introduites dans le modèle 2 en fonction de la population de la ville où s'opère les changements de mode. On voit ainsi que les itinéraires multimodaux transitant par une ville de la taille du Mans (190 000 habitants) subissent une pénalité de 56 mn dans le sens Route-Fer et de 46 mn dans le sens Fer-Route. Pour une ville de la taille de Lyon (1 250 000 habitants), ces pénalités sont respectivement de 72 et 62 mn. Quand aux changements multimodaux s'opérant à Paris, il subissent des pénalités de une heure et demi dans le sens Route-Fer et de 1h 20 mn dans le sens Fer-Route.

Au total, le modèle 2 (mais aussi le modèle 1 qui en est un cas particulier) peuvent s'écrire sous la forme d'un modèle général comportant six paramètres :

Modèle paramétrique général de calcul des accessibilités multimodales

$T_{ij}^F = T_{ij}^{F-min} + a1 / (N_{ij})^{b1}$	: temps ferroviaire corrigé par le nombre de liaisons
$P_k^{RF} = a2 + [b2 \cdot \ln (P_k/2000)]$	: pénalité subie lors des passages de la route au fer
$P_k^{FR} = a3 + [b3 \cdot \ln (P_k/2000)]$	: pénalité subie lors des passages du fer à la route
$T_{ij}^{RF} = \min_w [T_{iw}^R + P_w^{RF} + T_{wj}^F]$	: temps minimum de parcours par trajet RF
$T_{ij}^{FR} = \min_w [T_{iw}^F + P_w^{FR} + T_{wj}^R]$	: temps minimum de parcours par trajet FR
$T_{ij}^{RFR} = \min_{w,z} [T_{iw}^R + P_w^{RF} + T_{wz}^F + P_z^{RF} + T_{zj}^R]$	: temps minimum de parcours par trajet RFR

Le modèle 1 correspond en effet à un jeu de paramètres (a1,b1,a2,b2,a3,b3) égal à (0,0,20,0,10,0) tandis que pour le modèle 2 les valeurs respectives sont (30,1,20,8.1,10,8.1).

1.3. L'algorithme de détermination des trajets multimodaux optimaux

Une fois définie la structure générale du modèle, il restait à construire un logiciel capable de déterminer pour chaque couple origine-destination quels étaient les itinéraires multimodaux optimaux pour chacune des trois combinaisons modales FR, RF et RFR. Sachant que les hypothèses et les paramètres retenus dans cette étude constituaient nécessairement une première approche de type exploratoire, nous avons souhaité disposer pour le calcul des résultats non pas d'un programme *ad hoc* mais d'un logiciel évolutif susceptible d'enrichissements pour des études ultérieures.

Il était donc nécessaire de disposer d'une **architecture informatique à la fois ouverte** (possibilité de traiter un multigraphe quelconque, par exemple comportant l'aérien en plus du ferroviaire et du routier), **performante** (possibilité de traiter des graphes de taille beaucoup plus importante que celui des 200 villes de plus de 20000 habitants) et **portable sur des systèmes d'exploitation différents** (Dos, Unix, Windows, ... selon les besoins de l'utilisateur).

1.3.1. La coopération IMAG-Equipe P.A.R.I.S.

Notre équipe de recherche ayant établi à plusieurs reprises des contacts avec des chercheurs en informatique de Grenoble (LMC-IMAG), nous avons choisi de confier la conception du logiciel et de l'algorithme à leur équipe de recherche. Bien que le problème posé ne soit pas, au stade actuel, d'une très grande complexité informatique, il pourrait le devenir par la suite si l'on décidait de multiplier les modes, les niveaux d'analyse du déplacement, les hypothèses de comportement. Or, le Laboratoire Modélisation et Calcul (LMC) est une équipe spécialisée dans l'évaluation de performance et le calcul informatique intensif (parallélisme), de sorte que l'on peut envisager des raffinements importants du programme dans le futur, sans pour autant buter sur des temps de calcul rédhibitoires.

1.3.2. Mise au point d'un prototype par M.E. Bouzgarrou.

La mise au point de l'algorithme déterminant les plus courts chemins multimodaux a été confiée à **Mohamed Ekbel Bouzgarrou**, ingénieur ENSIMAG (1995), titulaire d'un DEA de recherche opérationnel (Université Joseph Fourier, Grenoble 1995) et actuellement thésard dans l'équipe Algorithmique Parallèle du LMC-IMAG.

Conformément aux spécifications déterminés précédemment (Cf. 1.2.3), le programme a été rédigé en **langage C** ce qui le rend portable aussi bien sur des plates-formes DOS qu'UNIX à condition de disposer d'un compilateur adéquat. La parallélisation de l'algorithme n'a pas été introduite dans cette première version, car elle était inutile compte tenu de la taille réduite du multigraphe à analyser (208 sommets et 2 modes de transport). Elle demeure cependant possible et pourrait être ajoutée dans une étape ultérieure, par exemple si le Ministère des Transports souhaitait disposer des plus courts chemins multimodaux entre l'ensemble des communes de France et pour l'ensemble des modes de transport possibles (adjonction du transport aérien et du transport maritime vers la Corse) ou bien si l'on voulait examiner l'accessibilité multimodale de la France à l'intérieur de l'espace européen. Ce programme, s'il était actualisé en temps réel, aurait de très nombreuses applications, tant dans le domaine des transports (calcul d'itinéraires de délestage en périodes de saturation saisonnière) que

dans celui de ... la défense (itinéraires optimaux d'évacuation d'une population en cas de mise hors service d'une partie du réseau de transport).

De telles applications demeurent cependant prématurées, tant que n'auront pas été validées sur le plan théorique et sur le plan empirique les hypothèses de modélisation retenues dans ce travail, notamment en ce qui concerne les paramètres de changement de mode. Or, il subsiste encore à cet égard de nombreuses incertitudes que nous devons discuter avant de présenter les résultats obtenus à l'aide des modèles.

1.3.3. Format des résultats du programme de M.E. Bouzgarrou.

Les résultats des simulations effectuées à l'aide du programme de M.E. Bouzgarrou sont présentés sous la forme de fichiers textes indiquant pour chacun des 208x207 couples origine-destination (i,j) les 11 variables indiqués dans le tableau ci-dessous.

Structure des fichiers de résultats du programme de calcul des accessibilités multimodales

V_i : code de la ville d'origine
V_j : code de la ville de destination
T_{ij}^R : temps routier de i vers j (en minutes)
T_{ij}^F : temps ferroviaire de i vers j (en minutes)*
T_{ij}^{RF} : temps minimum d'un trajet combiné route-fer de i vers j (en minutes)*
V_{ij}^{RF} : code de la ville-relais définissant le trajet optimal route-fer
T_{ij}^{FR} : temps minimum d'un trajet combiné fer-route de i vers j (en minutes)*
V_{ij}^{FR} : code de la ville-relais définissant le trajet optimal fer-route
T_{ij}^{RFR} : temps minimum d'un trajet combiné route-fer-route de i vers j (en minutes)
V_{ij}^{RFR1} : code de la 1ère ville-relais définissant le trajet optimal route-fer-route
V_{ij}^{RFR2} : code de la 2e ville-relais définissant le trajet optimal route-fer-route

* En cas d'impossibilité de définir un trajet F, FR ou RF, les variables correspondantes se voient affectées la valeur 99999.

Les fichiers ainsi définis permettent de comparer les temps de parcours associés à chaque solution multimodale ou unimodale, mais ils autorisent également une analyse des noeuds ou des arcs correspondant aux trajets pour lesquels les solutions multimodales sont plus avantageuses que les solutions unimodales. *Les exploitations de résultats présentés dans ce rapport ne concernent qu'une petite partie des traitements possibles et les fichiers de résultats peuvent être mis à la disposition du M.E.T.L. si ce dernier envisage d'approfondir certaines questions ou de procéder à des études spécifiques sur une ville ou une région.*

1.4. Validation des hypothèses et choix du modèle de référence

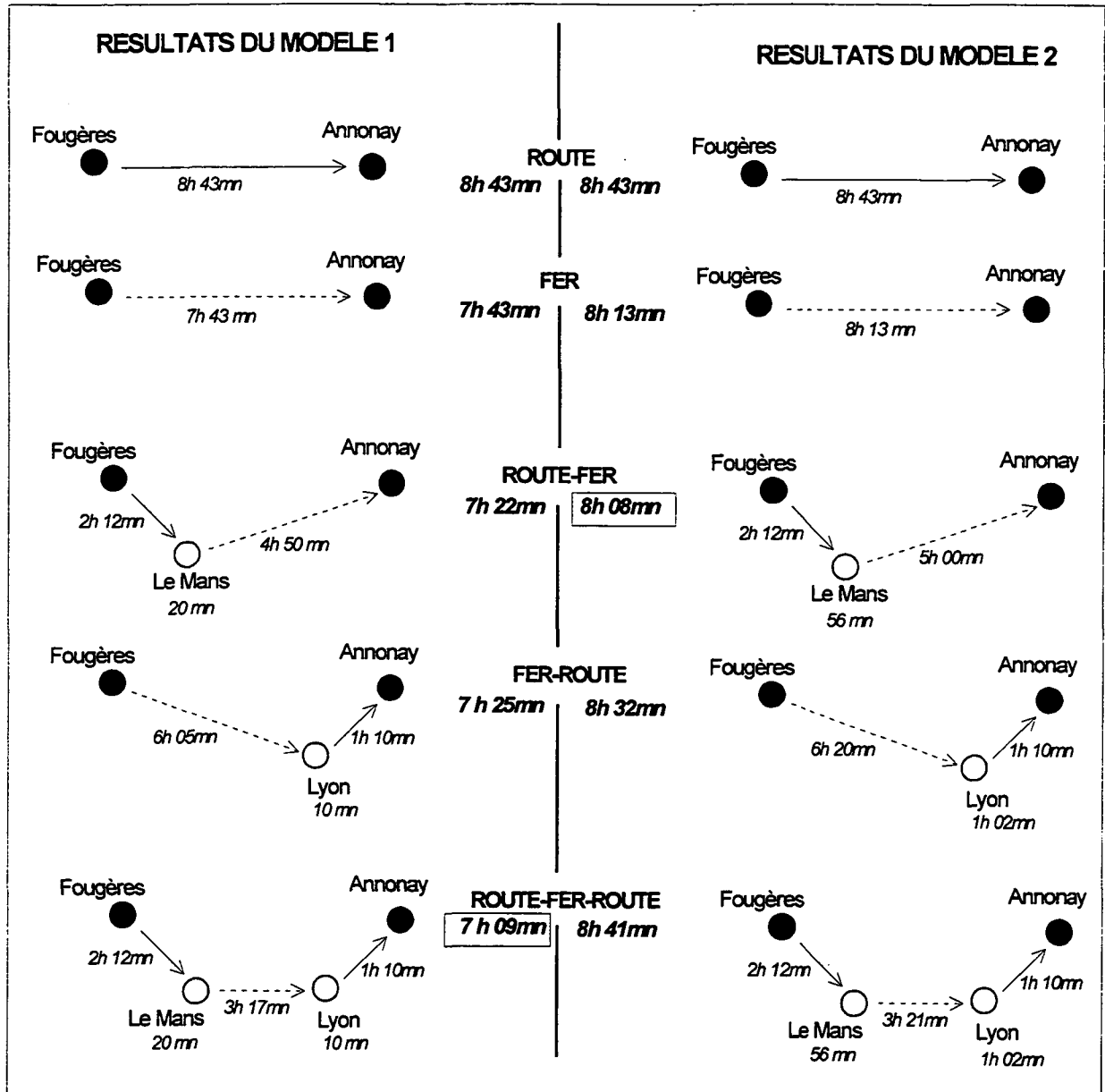
Avant de procéder à des traitements agrégés sur l'ensemble des 208x207 couples origine-destination, nous avons souhaité tester la validité et la pertinence des résultats fournis par la modélisation à l'aide d'un certain nombre de tests portant sur des échantillons plus réduits. Nous avons également cherché à comparer la stabilité des résultats en fonction du jeu des paramètres adoptés (modèles 1 et 2) et à déterminer lequel semblait le plus pertinent.

1.4.1. Analyse de liaisons particulières

En ce qui concerne l'algorithme proprement dit, l'examen d'un certain nombre de couple origine-destination tiré au hasard a permis de montrer que le programme informatique déterminait sans erreur les chemins multimodaux optimaux, une fois fixés les paramètres et les contraintes. Soit par exemple le cas d'un voyageur souhaitant se rendre de Fougères (Ille-et-Vilaine) à Annonay (Ardèche) selon un trajet routier, ferroviaire ou multimodal (*Figure 1-4*)

- ⇒ **Pour le modèle 1** (non prise en compte des fréquences ferroviaires et pénalités de changement de mode non liées à la taille de la ville où s'opère celui-ci), la solution optimale (7h 09 mn) consiste à se rendre de Fougères au Mans en voiture, puis à prendre le train jusqu'à Lyon et enfin à reprendre la voiture de Lyon à Annonay. Il s'agit donc d'un trajet multimodal complexe de type « Route-Fer-Route ». Les solutions multimodales plus simples (route-fer via Le Mans ou fer-route via Lyon) aboutissent à un temps légèrement supérieur (respectivement 7h 22 mn et 7h 25 mn) mais constituent une meilleure solution qu'un trajet purement ferroviaire (7h 43 mn) et surtout purement routier (8h 43 mn).

Figure 1-4 : Un exemple de recherche des plus court chemins multimodaux (Fougères-Annonay)



⇒ Pour le modèle 2 (prise en compte des fréquences ferroviaires et pénalités de changement de mode proportionnelles à la taille des villes de transbordement), les écarts sont considérablement réduits entre les différentes solutions. La solution optimale qui est à un trajet multimodal « route-fer » via Le Mans ne l'emporte que de justesse (8h08 mn) par rapport à la solution unimodale d'un trajet purement ferroviaire (8h13 mn). Quand aux autres solution multimodales, elles impliquent toujours un changement « fer-route » à Lyon mais sont désormais fortement pénalisées² par la prise en compte des encombrements possibles à l'intérieur de cette ville (+42 mn de pénalités en plus des 10 mn de pénalité fixe). L'avantage

² Mais ce désavantage des grandes métropoles est compensé par la prise en compte des fréquences ferroviaires qui joue désormais en leur faveur.

des solutions Fer-Route (8h 32mn) et Route-Fer-Route (8h 41mn) par rapport à un trajet purement routier (8h 43mn) devient alors négligeable.

Dans l'exemple de la *Figure 1-*, les villes où s'opèrent les points de changement multimodaux sont restées toujours les mêmes : Le Mans (pour les trajets Route-Fer) et Lyon (pour les trajets Fer-Route). Mais il peut arriver que des changements importants apparaissent selon les modèles retenus. Les villes de transbordement utilisées par les modèles RF et FR ne sont pas nécessairement celles qui donnent le trajet RFR optimal. Si l'on examine par exemple les solutions multimodales optimales pour un trajet Fougères-Toulon selon les spécifications du modèle 1 on obtient les résultats suivants :

- **Route-Fer** : changement à *Paris* (9h26mn)
- **Fer-Route** : changement à *Avignon* (9h 48mn)
- **Route-Fer-Route** : changements au *Mans* et à *Lyon* (9h 37mn)

Le passage du modèle 1 au modèle 2 tend par ailleurs à favoriser les itinéraires multimodaux passant par des villes moyennes et/ou des villes constituant des noeuds du réseau ferroviaire puisqu'il pénalise les changements de mode dans les grandes agglomérations mais tient compte de la fréquence des trains dans le calcul des temps ferroviaires.

D'une manière générale, l'étude d'un certain nombre de liaisons particulières permet de valider le bon fonctionnement de l'algorithme de calcul des plus courts chemins multimodaux mis au point par M.E. Bouzgarrou. Mais il n'en demeure pas moins un certain nombre d'interrogations sur le choix des paramètres retenus dans les modèles 1 et 2 et sur leur adéquation aux pratiques réelles ou même simplement possibles des voyageurs.

1.4.2. Analyse de l'ensemble des liaisons d'une ville moyenne vers toutes les autres

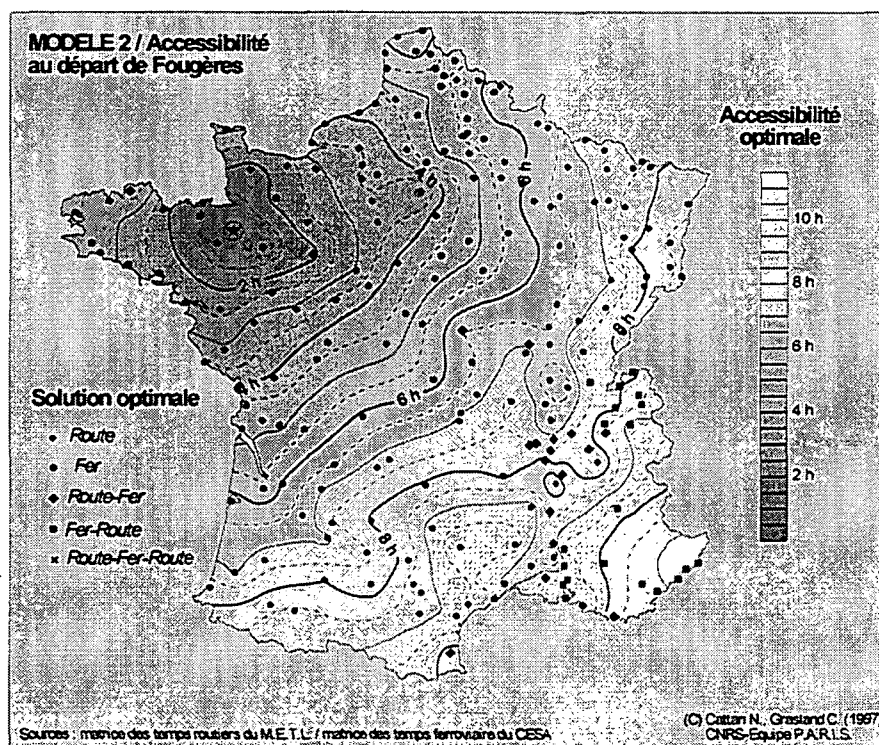
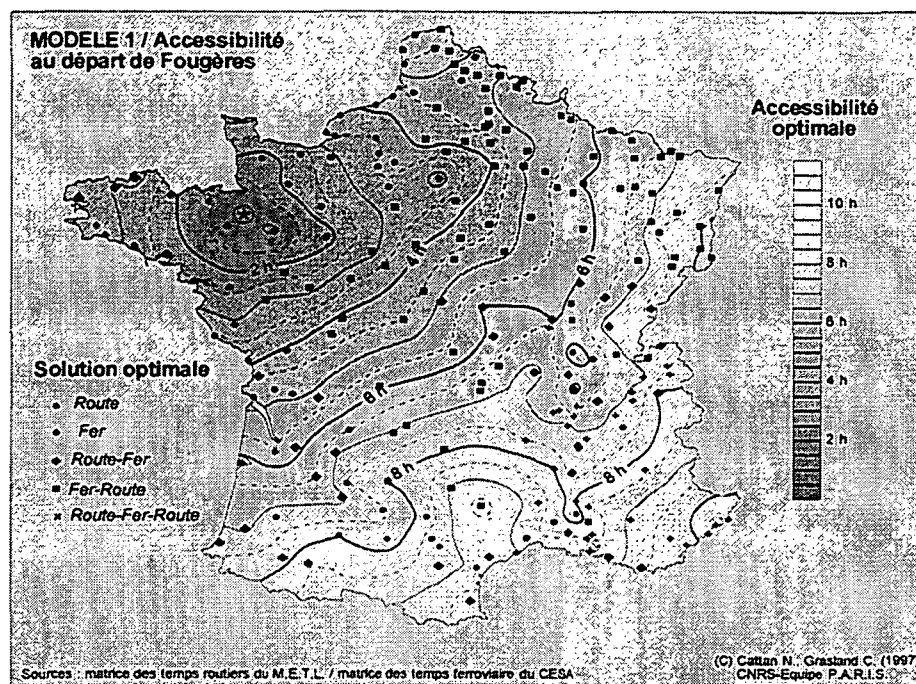
Une seconde étape de validation consiste à étudier la distribution des solutions optimales pour l'ensemble des relations d'une ville moyenne avec toutes les autres.

Dans le cas de Fougères (*Figure 1-5*), nous avons représenté pour chaque destination³ possible le type de la meilleure solution (F, R, RF, FR, RFR) et le temps associé sur une même carte. Avec le modèle 1, on constate que les solutions multimodales (RF, FR, RFR) dominent de façon écrasante, surtout vers le nord, l'est et le sud-est. Les trajets purement ferroviaires n'intéressent que les gares TGV les plus importantes (Paris, Lille, Arras, Lyon, Avignon, Nîmes, Grenoble). Quand aux trajets purement routiers, ils prédominent pour les relations avec l'ensemble des villes de la façade atlantique et du sud-ouest pour lesquelles le rebroussement ferroviaire vers Paris ne se justifie pas. Le modèle 2, beaucoup plus sélectif quand à l'emploi des solutions ferroviaires et multimodales, laisse apparaître une image sans doute plus conforme à la réalité. Le routier domine désormais de façon écrasante et constitue la solution optimale vers la majorité des destinations. Vers les villes du Nord-Pas-de-Calais et de la vallée du Rhône, les trajets ferroviaires purs conservent un certain avantage grâce aux lignes de TGV nord et sud-est que l'on peut emprunter après une correspondance à Paris et au Mans. Quand au multimodal, il ne se justifie que pour les villes des régions Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte d'Azur ne disposant pas directement d'une liaison TGV. Les trajets FR correspondent à des situations où le voyageur se rend de Fougères à Rennes ou au Mans pour trouver un train rejoignant dans la journée la ville des destination : cette situation

³ En raison de la dissymétrie des temps de parcours ferroviaire (fréquence des liaisons diurnes, temps de changement de mode RF et RF...), on aurait pu représenter également les accessibilités et parcours optimaux ayant Fougères pour destination plutôt que pour origine. Il apparaît cependant à l'examen que les différences sont trop faibles pour que cet ajout soit justifié dans le cadre de ce rapport.

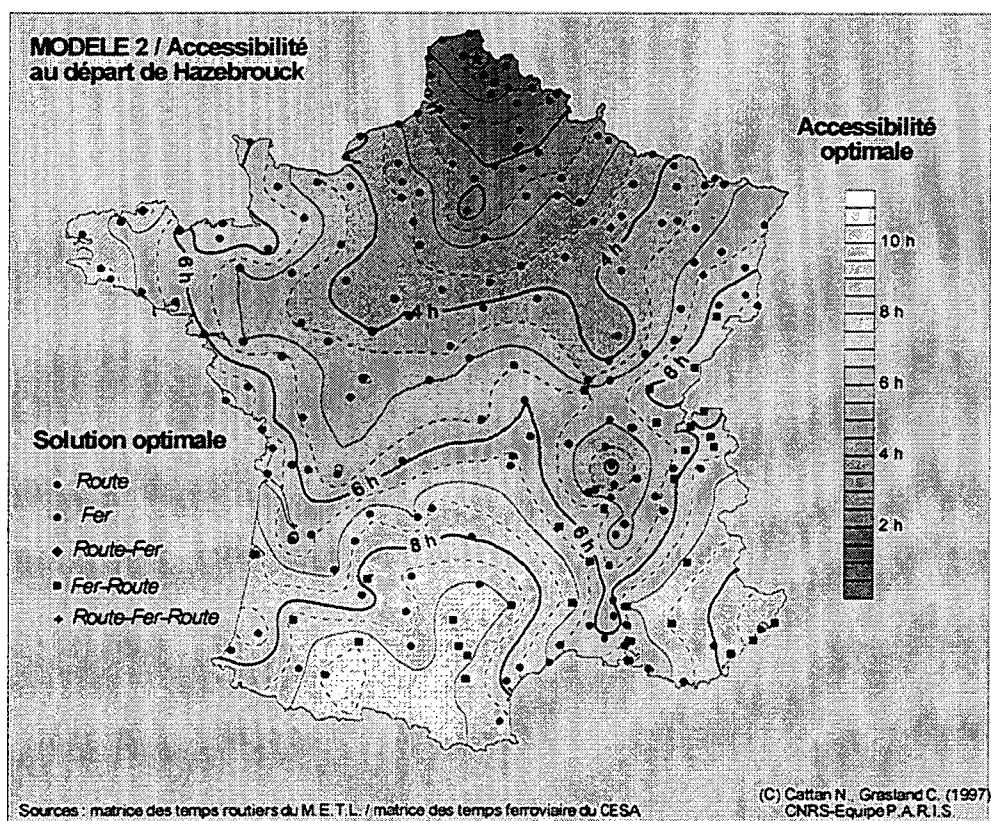
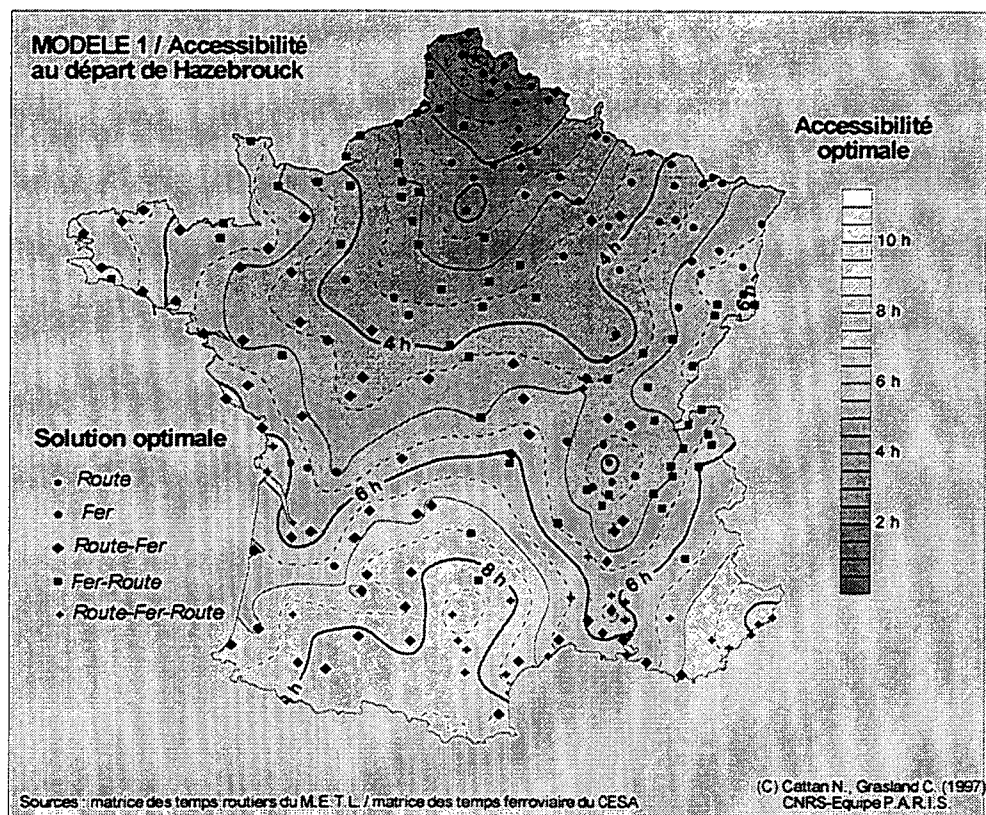
concerne les petites villes de l'axe de la vallée du Rhône. Les trajets FR correspondent à la situation où le voyageur se rend par le train de Fougères aux rares villes de la vallée du Rhône qu'il peut atteindre dans la journée (Lyon, Valence, Avignon) puis effectue le trajet final en voiture : cette situation concerne plutôt les villes des Alpes du Nord et du littoral méditerranéen, mal reliées par le train au réseau TGV sud-est. Les solutions multimodales complexes (RFR) ne sont jamais optimales dans le cadre du modèle 2, alors qu'elles concernaient un nombre élevé de villes dans le cadre du modèle 1.

Figure 1-5 : Détermination de l'accessibilité optimale au départ de Fougères par la route, le fer et leur combinaison multimodale



Dans le cas de Hazebrouck (*Figure 1-6*), on peut émettre les mêmes réserves que dans le cas de Fougères à l'égard du modèle 1 qui tend à surestimer de façon manifestement exagérée la part du multimodal. A en croire les résultats de la simulation effectuée à l'aide du modèle 1, plus des trois quarts des destinations possibles de Hazebrouck bénéficieraient d'un gain de temps grâce à une combinaison multimodale ! La simulation effectuée à l'aide du modèle 2 montre au contraire une prédominance des solutions unimodales, la route dominant pour les relations à courte et moyenne portées (Bassin Parisien, Normandie, France de l'Est) tandis que le fer est évidemment le plus avantageux pour les destinations localisées sur le parcours des TGV ouest, sud-ouest et sud-est . L'avantage du multimodal se limite à des combinaisons Fer-Route permettant de rejoindre les villes du sud-ouest et du sud-est qui ne sont pas localisées directement sur le réseau TGV ou sur les grandes lignes. Les combinaisons Route-Fer ou Route-Fer-Route n'apparaissent plus car le passage par Lille est assortie dans le modèle 2 d'une forte pénalité liée à la taille de l'agglomération. Quand au rabattement routier sur Arras, il n'est guère plus avantageux et est comparativement moins intéressant que l'emploi des trains régionaux.

Figure 1-6 : Détermination de l'accessibilité optimale au départ de Hazebrouck par la route, le fer ou leur combinaison multimodale



1.4.3. Choix du modèle de référence

Le modèle 1 est utile en ce qu'il permet de décrire la performance maximale du transport ferroviaire ou de la combinaison multimodale route-fer. On serait tenter de parler de modèle « Philéas Fogg » dans la mesure où la situation ainsi modélisée n'est pas sans rappeler celle du héros du *Tour du monde en 80 jours* qui saute perpétuellement du meilleur train dans le meilleur bateau en espérant qu'aucun incident ne viendra perturber la mécanique fragile des correspondances. L'utilité de ce modèle est, si l'on veut, d'assigner une borne supérieure à l'utilisation potentielle des solutions multimodales, sachant que cette borne supérieure n'a aucune chance d'être atteinte. Ainsi, ce modèle prévoit que pour 57% des couples origine-destination, une solution multimodales pourrait procurer un gain de temps par rapport à un trajet purement ferroviaire (12%) ou purement routier (31%)

Le modèle 2 ne correspond pas à proprement parler à une borne inférieure de la part du multimodale mais plutôt à une situation moyenne hypothétique (hypothétiquement moyenne ...) qui intègre autant que faire se peut un certain nombre de paramètres « plausibles ». Dans le cadre de ce modèle, le transport routier donne le meilleur temps pour se rendre d'une ville à une autre dans près de deux-tiers des cas (63%) et le transport ferroviaire dans un peu moins d'un quart de ceux-ci (24%). D'après ce modèle 2, les solutions multimodales ne procurent un gain de temps que pour 13% des liaisons inter-urbaines et les solutions multimodales complexes (Route-Fer-Route) apparaissent désormais tout à fait exceptionnelles (0.2% des cas) alors que leur importance n'était pas négligeable dans le cadre du modèle 1 (7.4% des liaisons).

N.B. Dans la suite du travail, les analyses porteront en règle générale sur les résultats des simulations effectuées à l'aide du modèle 2, même si une comparaison avec ceux du modèle 1 pourra être localement introduites lorsque la problématique le justifie.

1.4.4. Valeur exploratoire et limites de l'étude proposée

Avant de passer à l'interprétation des résultats, il faut rappeler un certain nombre de choix qui exercent une influence importante sur l'analyse et sont susceptibles de conduire à des interprétations erronées s'ils ne sont pas pris en compte :

1) la limitation de l'étude au territoire français est justifiée dans une optique d'aménagement du territoire national, mais elle ne doit pas dissimuler le fait que l'accessibilité, qu'elle soit uni- ou pluri-modale, est une réalité multiscalaire et que le changement du cadre de référence modifie *ipso facto* l'ensemble des positions relatives des lieux. En outre, même en se limitant à l'étude des relations entre les villes d'un même pays, *il faut prendre en compte les relations que deux villes d'un même pays peuvent nouer via l'entremise d'une ville étrangère*. Dans le cas français, ce type de situation est peu fréquent, compte tenu de la convexité générale de l'enveloppe du territoire, mais nous nous sommes aperçu (malheureusement trop tard...) qu'il pouvait se produire dans certains cas. Ainsi, le fait de ne pas avoir ajouté Genève aux graphes routiers et ferroviaires a généré pour plusieurs villes des Alpes du Nord (Thonon, Annecy, ...) des itinéraires multimodaux optimaux passant par Lyon alors que l'on peut supposer que des trajets plus courts auraient pu être obtenus via Genève.

2) la non prise en compte du transport aérien a été justifiée précédemment (Cf. 1.1), mais il faut être conscient des limites qu'elle impose aux résultats, car on sait pertinemment que ce mode de

transport concurrence fortement la route et le rail à partir de 500 kilomètres. Or, les trajectoires multimodales optimales mises en évidence par nos simulations concernent précisément beaucoup plus les longues distances que les courtes. *Il est donc particulièrement illusoire de raisonner sur les parts respectives des transport routiers, ferroviaires et multimodaux toutes distances confondues lorsque l'on ne dispose pas de renseignement sur la concurrence du transport aérien.* Pour pallier à ce problème, nous avons choisi de décomposer un certain nombre d'analyses sur l'accessibilité multimodale par classes de distance.

3) L'absence de segmentation du modèle utilisé par types d'utilisateur ou par motifs de déplacement interdit actuellement toute extrapolation des résultats à des situations particulières et en fait avant tout *un modèle théorique général de type exploratoire*. Celui-ci ne pourra devenir véritablement opérationnel que lorsque l'on disposera d'enquêtes et d'information beaucoup plus fines sur les choix et les attentes des usagers des transports routiers ou ferroviaires et que l'on sera en mesure d'assigner des fonctions de coût réaliste aux ruptures correspondant à des changements de mode. Dans la phase actuelle il serait illusoire d'accorder aux résultats obtenus une valeur opératoire et il vaut mieux les considérer comme des hypothèses à approfondir et à valider par des enquêtes de terrain.

2. EVALUATION DES AVANTAGES GLOBAUX DES MODES DE TRANSPORT ROUTIER, FERROVIAIRE ET COMBINE POUR LES VILLES MOYENNES

Cette partie permet de comparer l'accessibilité des villes moyennes françaises selon les deux modes de transport terrestre que sont la route et le rail. Elle aboutit notamment à la mise en place, pour chacune des villes moyennes, d'indices d'accessibilité préférentielle et d'indices d'accessibilité multimodale. Nous avons ainsi pu mettre en évidence, dans un premier temps, l'avantage de la route sur le rail, et dans un deuxième temps l'avantage de l'unimodal sur le multimodal.

Sauf mention contraire, l'utilisation du modèle 2 a été privilégiée. Comme nous l'avons signalé précédemment, dans ce modèle, les pénalités affectées aux changements de modes sont différenciées selon la taille de la ville dans laquelle s'effectue le changement. Cette hypothèse permet ainsi de prendre en compte, d'une manière plus réaliste, les pertes de temps dues aux ruptures de charge.

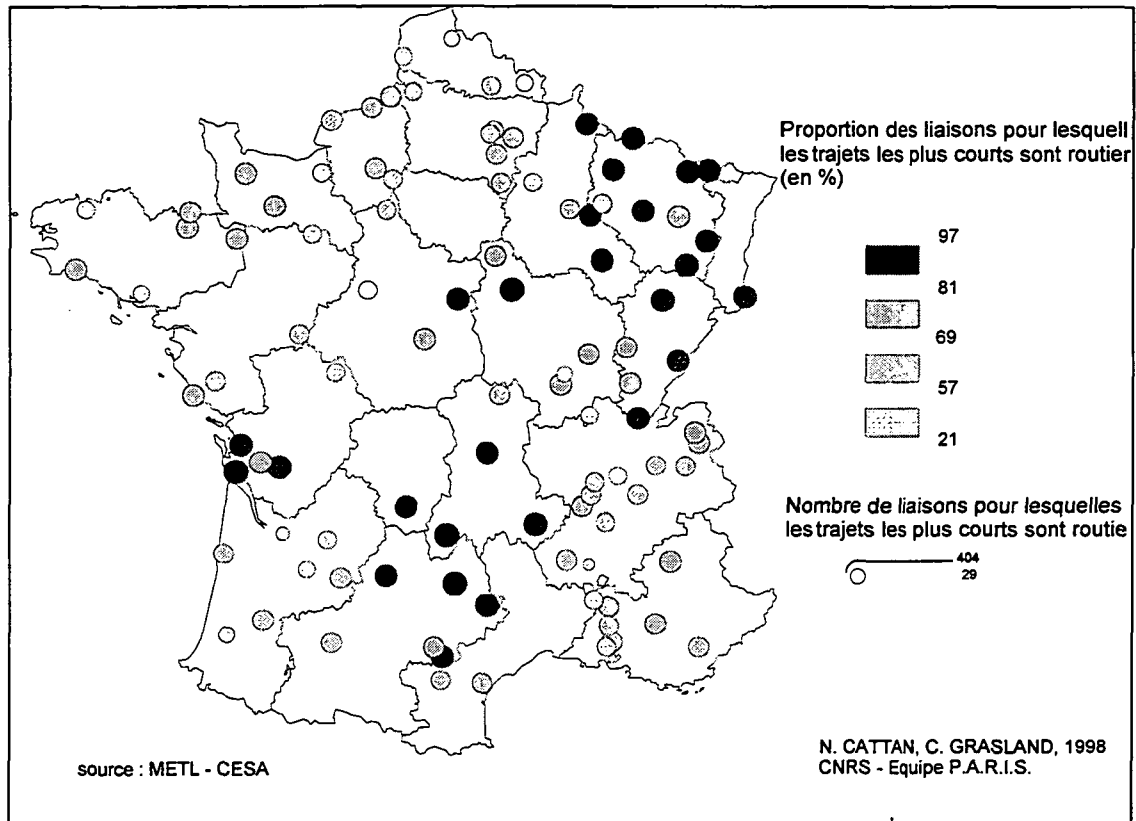
2.1. Villes moyennes et mode de transport privilégié

Quel est le mode de transport que doit privilégier un habitant d'une ville moyenne s'il veut optimiser ses déplacements vers l'ensemble des villes françaises ? Pour chaque liaison d'une ville moyenne vers une autre ville française de plus de 20 000 habitants, on a déterminé le mode de transport ou le mode combiné qui permet d'obtenir les temps de trajet les plus courts. On connaît ainsi pour chaque ville moyenne l'avantage qui revient à chacun des modes étudiés - route, rail ou route-rail combiné. Cet avantage est évalué par un pourcentage de destinations vers lesquelles les liaisons sont les plus courtes.

Pour l'ensemble des couples origine-destination (208x207 villes) les valeurs de référence du modèle 2 sont, comme nous l'avons vu précédemment, de 62.8% pour la route seule, 24.0% pour le fer seul et 13.2% pour les différentes combinaisons multimodales : RF (5.2%), FR (7.8%), RFR (0.2%). Mais ces valeurs moyennes subissent de très fortes variations d'une ville à l'autre, et c'est ce dont il nous faut tout d'abord rendre compte.

2.1.1. La route

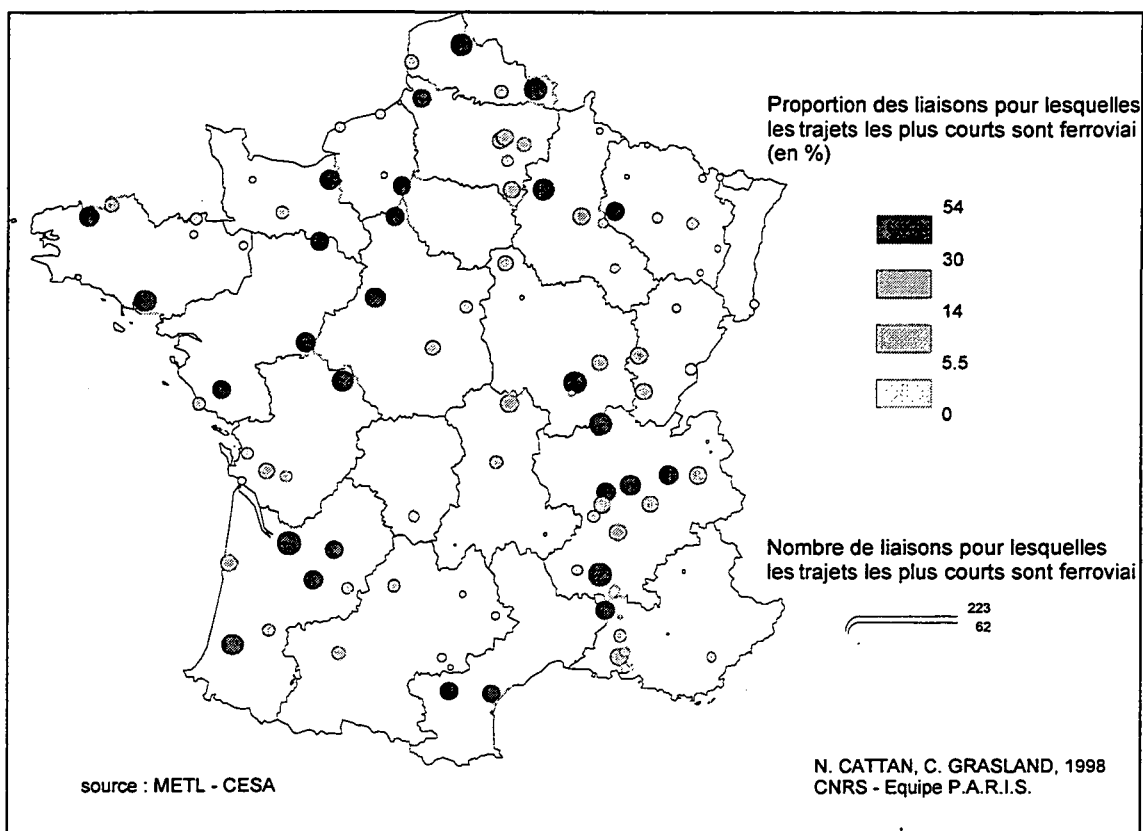
Figure 2-1 : La route, mode de transport privilégié



On a recensé pour chacune des villes moyennes, le nombre de liaisons pour lesquelles la route donnait les temps de trajet les plus courts. Ainsi, pour minimiser leur temps de trajet interurbain, les habitants des villes de l'est de la France ont intérêt à utiliser les infrastructures routières dans plus de 81% des cas. En effet, à partir de Saint-Dié et de Toul, par exemple, plus de 170 villes (sur 207) sont reliées par des temps de trajet routier plus courts que les temps de trajet ferroviaire. Il en est de même pour les villes d'Auvergne, du Limousin, de Midi-Pyrénées ainsi que de Poitou-Charentes. A l'inverse, les habitants des villes du Nord, de l'Ile de France et d'Aquitaine ont intérêt à utiliser les infrastructures routières dans moins de 60% des cas. Il n'en demeure pas moins qu'à partir de villes comme Hazebrouck et Dax, l'usage de la route minimise encore les temps de trajet vers plus de 20% des villes françaises.

2.1.2. Le fer

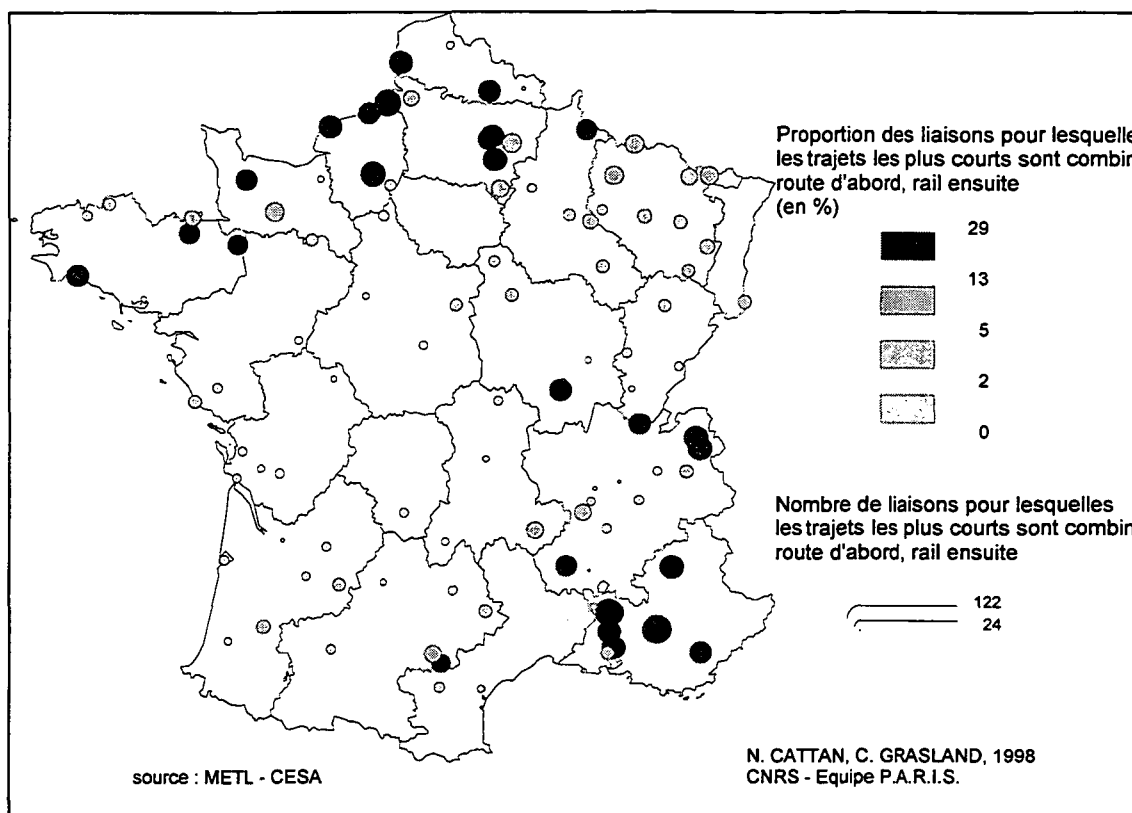
Figure 2-2 : Le fer : mode de transport privilégié



On a comptabilisé, pour chacune des villes moyennes, de la même façon que pour la route, le nombre de liaisons qui donnent un avantage pour le rail. D'une façon générale, on relève que les pourcentages sont beaucoup plus faibles. A partir de certaines villes moyennes comme Dole, Vesoul, Dinan et Cluses, les habitants ont rarement intérêt à utiliser les infrastructures ferroviaires (moins de 5,5% des cas). L'avantage est par contre un peu plus élevé -bien que toujours plus faible comparé à celui de la route- pour des villes moyennes situées le long des voies TGV ou à proximité de gares importantes. Ainsi, pour plus de 30% de liaisons interurbaines les habitants de Libourne, Lisieux, Macon et Orange ont intérêt à privilégier le chemin de fer.

2.1.3. La combinaison route - rail

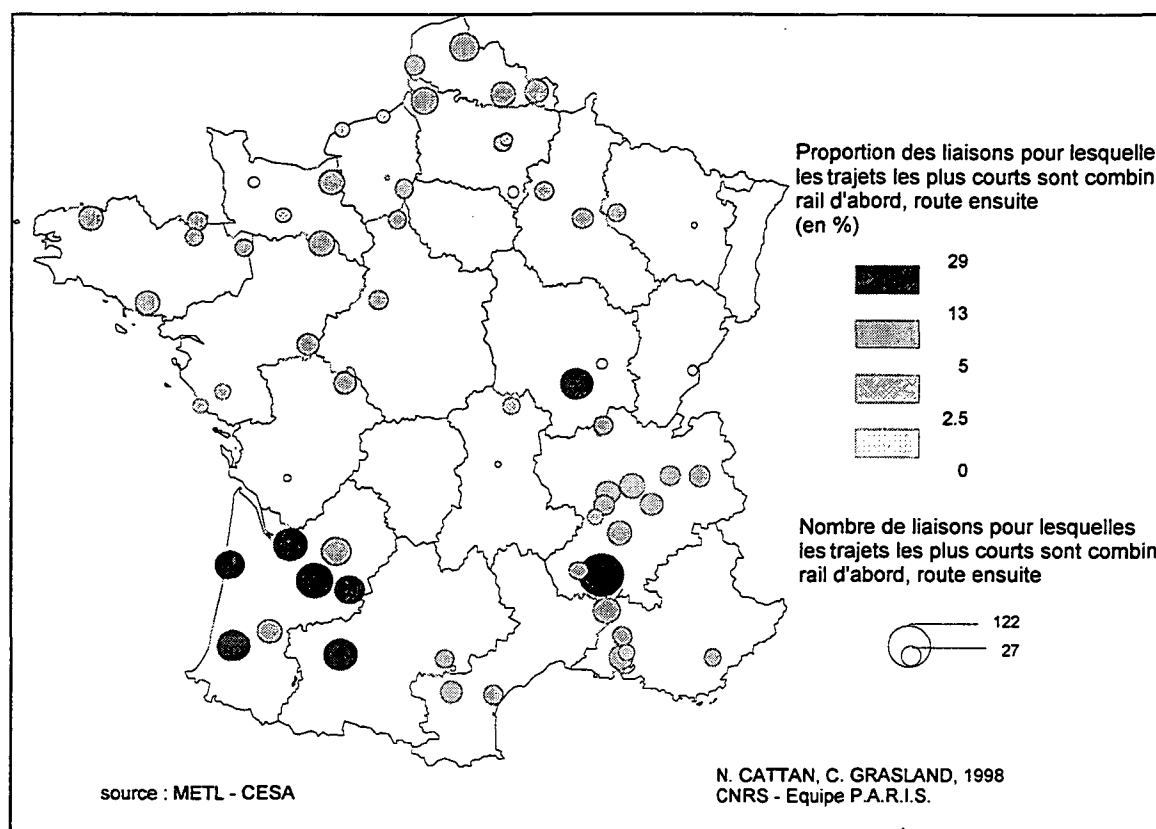
Figure 2-3 : Trajet combiné route - rail



Quelles sont les villes qui bénéficieraient d'un trajet mixte, combinant d'abord un trajet routier puis un trajet ferroviaire ? On a, en fait, recensé les villes pour lesquelles un rabattement routier vers la gare de la ville la plus proche ou la plus importante permettrait d'optimiser les temps de trajet moyens vers un nombre élevé de destinations. Le nombre de liaisons qui bénéficient de cette combinaison multimodale est relativement faible. Les villes avantagées par cette solution sont des villes du nord-ouest et du sud-est. Leurs habitants ont intérêt à utiliser un mode combinant la route puis le fer pour 13 à 29% de leurs destinations. Les habitants des villes de l'est sont aussi concernés par ces trajets mixtes (pour plus de 5% des liaisons mais moins de 13%). Un parcours multimodal route-fer n'a par contre aucun intérêt pour les habitants des villes du centre, de l'ouest et du sud-ouest. Leurs temps de trajet seraient optimisés dans moins de 5% des cas.

2.1.4. La combinaison rail - route

Figure 2-4 : Trajet combiné rail - route



A l'inverse de la carte précédente, on se demande ici quelles sont les villes qui bénéficieraient d'un trajet mixte qui commencerait par le fer et se terminerait par la route. On a, de ce fait, recensé les villes pour lesquelles le départ ou l'arrivée en train permettrait de minimiser les temps de trajet vers un nombre élevé de villes françaises. Pour plus de 13% des destinations, c'est-à-dire plus de 55 villes, les habitants des villes moyennes d'Aquitaine ainsi que ceux du Creusot et d'Orange ont intérêt à quitter leur ville par le fer et à terminer leur trajet par la route. L'intérêt que procure ce genre de combinaison multimodal -rail d'abord, route ensuite- est cependant dans l'ensemble assez faible. Pour la plupart des villes moyennes, seules 5 à 13% de leurs liaisons se trouvent optimisées par ce mode de transport mixte.

2.2. La concurrence route-rail : quels gains d'accessibilité pour les villes moyennes ?

On se propose dans un deuxième temps de calculer pour chaque ville moyenne son accessibilité à l'ensemble des autres villes de plus de 20 000 habitants (moyenne des temps) sous trois hypothèses :

(1) accessibilité routière

$$A_i^R = \sum_{j=1}^{208} T_{ij}^R$$

(2) accessibilité unimodale (routière ou ferroviaire)

$$A_i^U = \sum_{j=1}^{208} \min(T_{ij}^R, T_{ij}^F)$$

(3) accessibilité globale (routière, ferroviaire ou combinaison des deux)

$$A_i^G = \sum_{j=1}^{208} \min(T_{ij}^R, T_{ij}^F, T_{ij}^{RF}, T_{ij}^{FR}, T_{ij}^{RFR})$$

On en déduit successivement les gains liés au fer par rapport au routier dans le cadre d'un trajet unimodal, puis le gain lié aux solutions multimodales par rapport au meilleur itinéraire unimodal.

(4) Gains liés au ferroviaire par rapport au routier

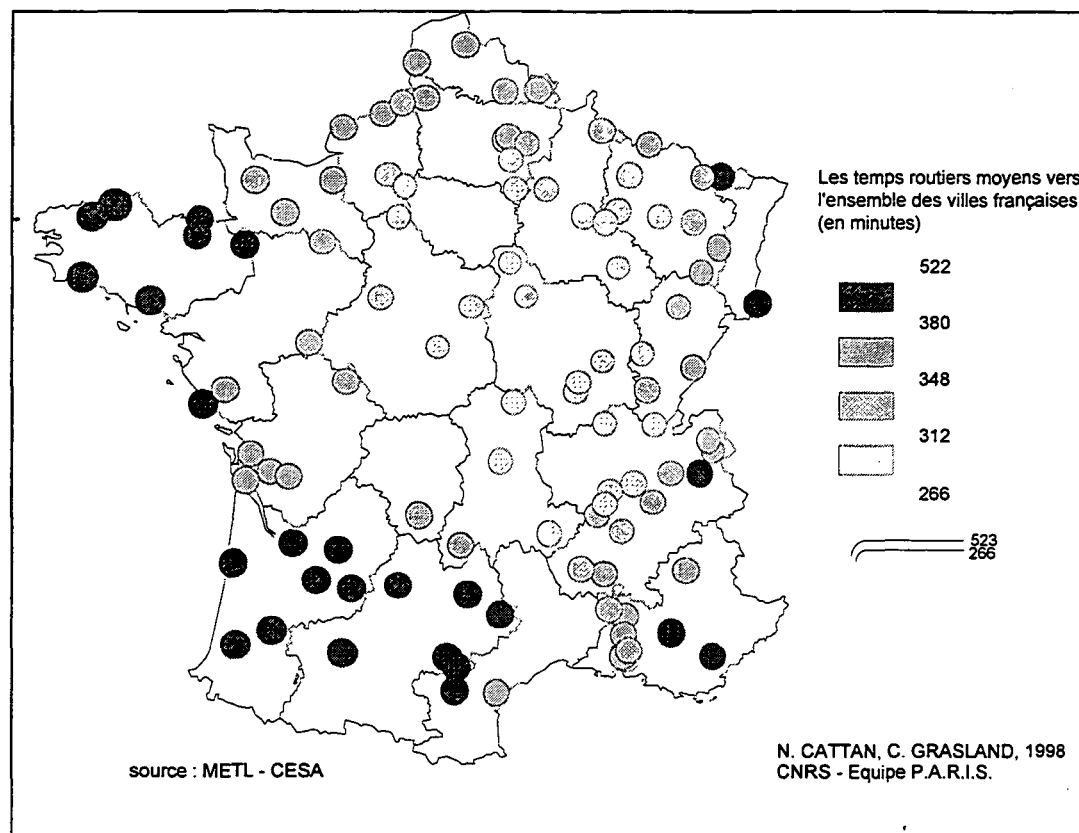
$$G_i^{R \rightarrow U} = 100 \times \left[\left(\frac{A_i^R}{A_i^U} \right) - 1 \right]$$

(5) Gains liés au multimodal par rapport à l'unimodal

$$G_i^{U \rightarrow G} = 100 \times \left[\left(\frac{A_i^U}{A_i^G} \right) - 1 \right]$$

2.2.1. L'accessibilité routière

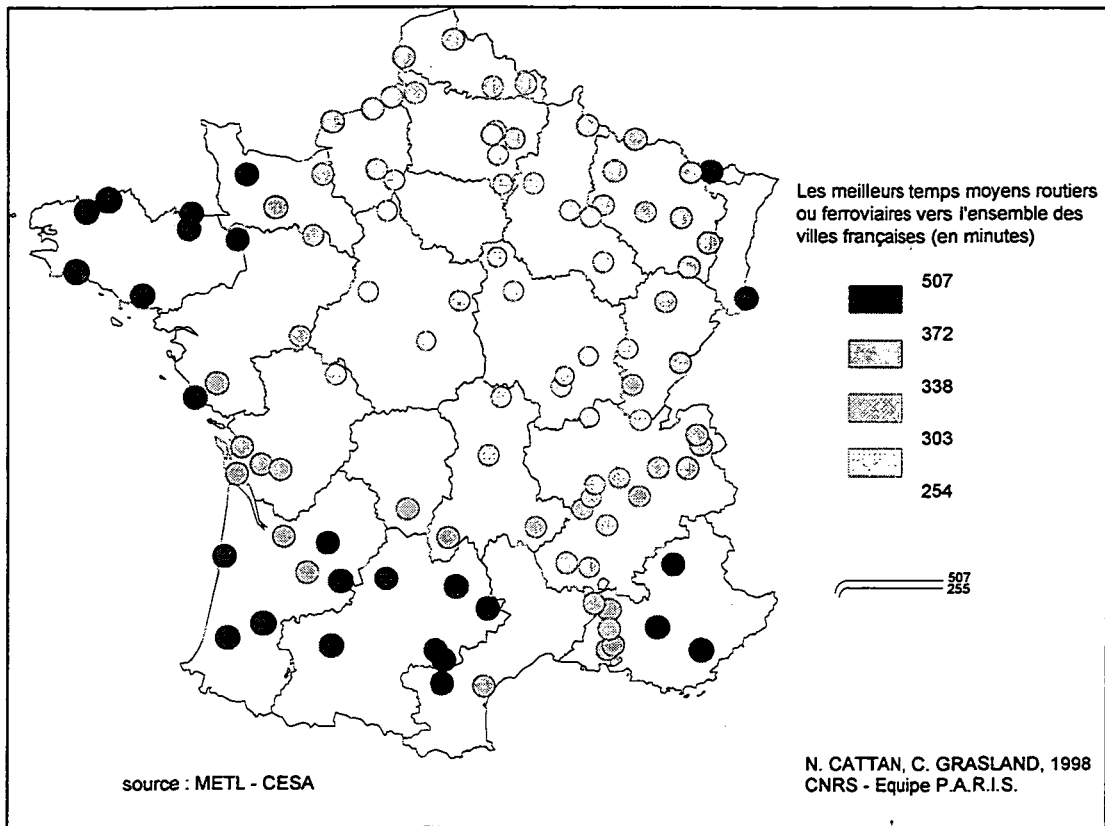
Figure 2-5 : Temps moyen de trajet routier



La carte de l'accessibilité routière des villes moyennes est sans surprise (voir Cattan, Grasland 1997, volume 1). Le temps de trajet d'une ville vers l'ensemble des autres villes françaises restituent une image de la centralité géographique des villes. Un centre très accessible légèrement décalé vers le nord dessine une auréole qui comprend les villes de la région Centre, de l'Auvergne, de la Bourgogne et du sud de Champagne-Ardenne. Les villes du sud-ouest et de l'ouest étant les moins accessibles.

2.2.2. L'accessibilité unimodale

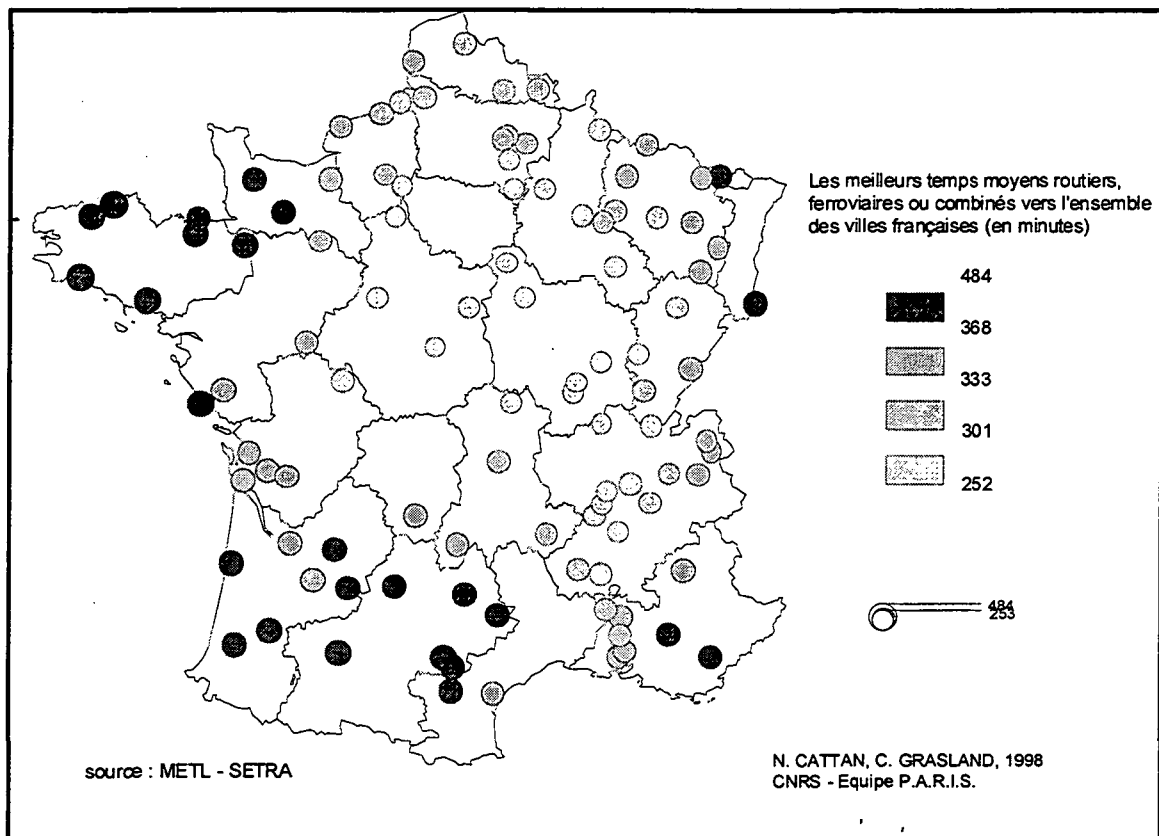
Figure 2-6 : Temps de trajet moyen unimodal, routier ou ferroviaire



Nous nous sommes intéressés aux meilleurs temps routiers ou ferroviaires qui permettent de lier chacune des villes moyennes à l'ensemble des villes françaises. La configuration est très proche de celle des temps routiers puisque pour la plupart des liaisons, c'est l'infrastructure routière qui minimise les temps de trajet. On retrouve donc le gradient centre-périphérie décalé vers la moitié nord de la France.

2.2.3. L'accessibilité globale

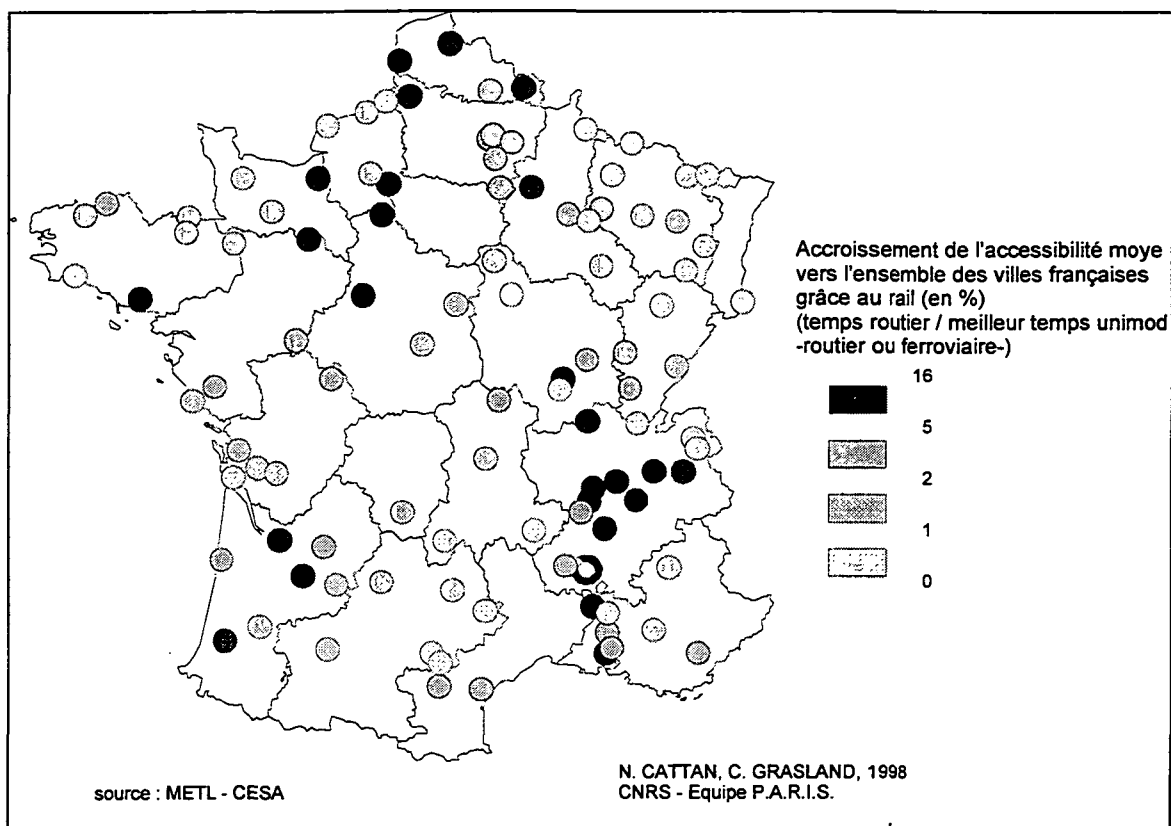
Figure 2-7 : Temps de trajet moyen unimodal ou multimodal



Les différences entre la carte des accessibilités multimodales et celle des accessibilités unimodales est dans la plupart des cas infimes. Cela s'explique d'une part, par le fait que le nombre de liaisons pour lesquelles le multimodal procure un gain de temps par rapport au multimodal est très réduit (13%) et d'autre part, par le fait que les gains obtenus sur ces liaisons sont dans l'ensemble très faibles.

2.2.4. L'avantage de la route sur le rail

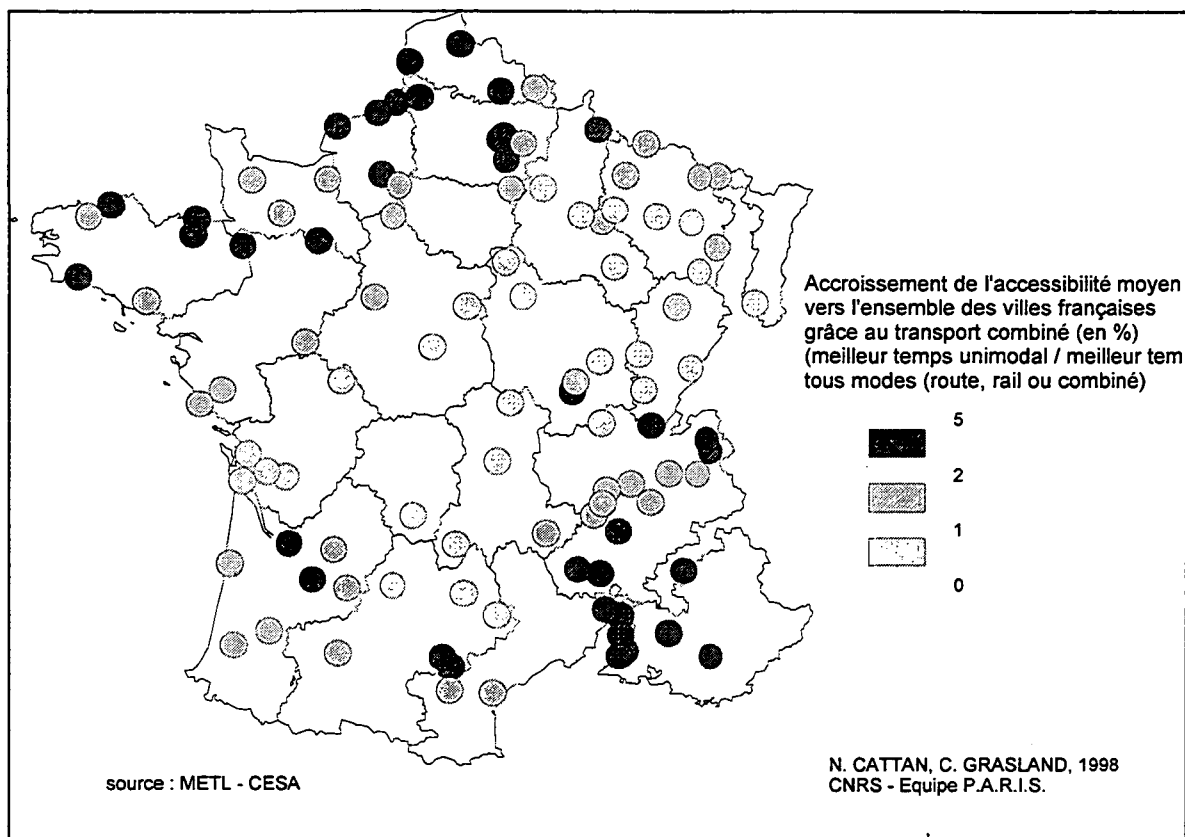
Figure 2-8 : Les gains de temps grâce au rail



Nous avons comparé les temps de trajet routier moyen de chacune des villes moyennes aux meilleurs temps de trajet routier ou ferroviaire. L'indice obtenu permet alors d'évaluer les gains de temps qu'introduit le rail par rapport aux meilleurs temps routiers. Aucune ville moyenne n'affiche un gain de temps par le rail supérieur à 16%. Par ailleurs, l'accessibilité globale de la moitié des villes moyennes n'augmente que de 2%. Les villes, principales bénéficiaires de ces gains, c'est à dire celles où le rail accroît l'accessibilité de plus de 5% en moyenne, sont des villes du sud-est, du nord et des environs de l'Ile de France. Les infrastructures ferroviaires n'apportent aucun avantage aux villes de l'est, de Midi-Pyrénées et d'Auvergne.

2.2.5. Unimodal ou multimodal

Figure 2-9 : Les gains de temps grâce au transport combiné



Nous avons sélectionné, pour chacune des liaisons, le meilleur temps quelque soit le mode (route, rail, ou combiné) et le meilleur temps unimodal (route ou rail). Leur comparaison donne une évaluation du gain qu'engendre le mode de transport combiné. L'indice mesuré montre qu'aucune ville moyenne n'accroît son accessibilité de plus de 5%. Celles qui profitent le plus de la combinaison des deux modes de transport sont localisées dans le sud-est, le sud-ouest, le nord et le nord-ouest essentiellement. Celles qui sont mieux desservies par la route ou le fer sont situées sur une diagonale nord-est / centre-ouest qui traverse la France de part en part.

2.3. Les itinéraires multimodaux potentiels

Les gains d'accessibilité procurés par le multimodal aux villes moyennes sont dans l'ensemble très réduits. Mais ces résultats globaux n'empêchent pas de rechercher quels sont les itinéraires pour lesquels des gains significatifs peuvent apparaître lorsque l'on utilise une combinaison des modes routier et ferroviaire.

En ne retenant que les couples origine-destination pour lesquels la combinaison multimodale produit *un gain de temps supérieur à 30 minutes en valeur absolue et 5% en valeur relative* par rapport à la route ou au fer seuls, nous avons essayé de déterminer les principaux itinéraires pour lesquels les solutions multimodales seraient potentiellement intéressantes.

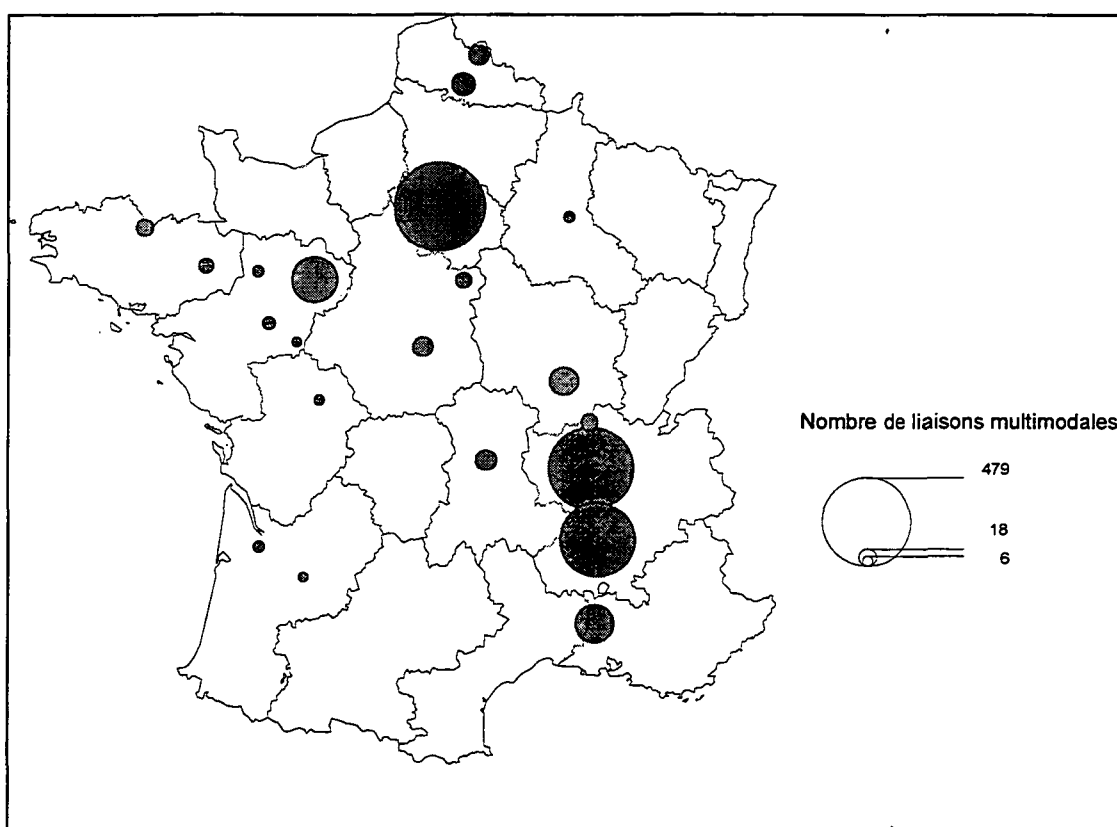
A l'aide des renseignements fournis par le programme de M.E. Bouzgarrou, nous avons

successivement déterminé :

- (1) les **noeuds multimodaux**, c'est-à-dire les villes où s'opèrent les connexions R-F ou F-R procurant un gain de temps appréciable.
- (2) les **arrêtes multimodales**, c'est-à-dire les principaux itinéraires combinés routiers et ferroviaires procurant un gain de temps appréciable par rapport aux itinéraires unimodaux.

2.3.1. Les nœuds de l'interconnexion multimodale

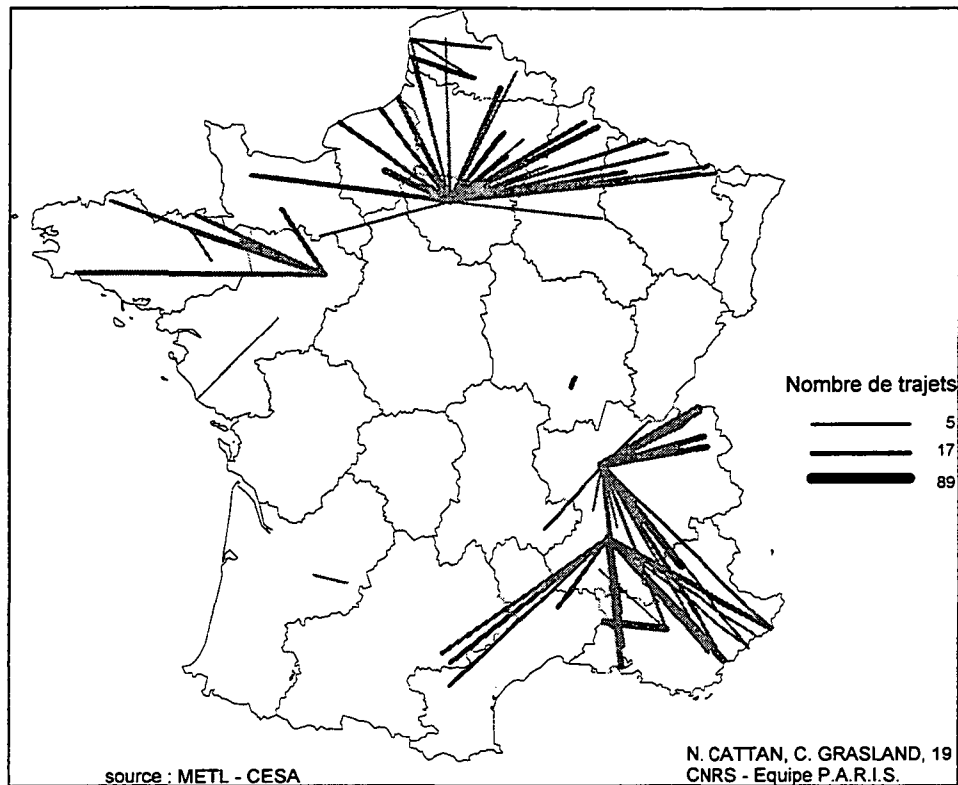
Figure 2-10 : Les nœuds potentiels de l'interconnexion multimodale



Les lieux privilégiés où s'effectue l'interconnexion route-rail ou rail-route sont Paris, Lyon, Valence, Avignon et Le Mans principalement. Ce sont pour l'essentiel des noeuds du trafic ferroviaire à grande vitesse mais aussi des fins de ligne si on exclut Paris et Lyon. Secondairement, on voit également apparaître des villes non liées au réseau TGV mais qui constituent le point de croisement de plusieurs lignes ferroviaires comme Vierzon, Rennes ou Clermont-Ferrand.

2.3.2. Les parcours privilégiés du transport combiné (route)

Figure 2-11 : Les tronçons routiers dans les parcours multimodes

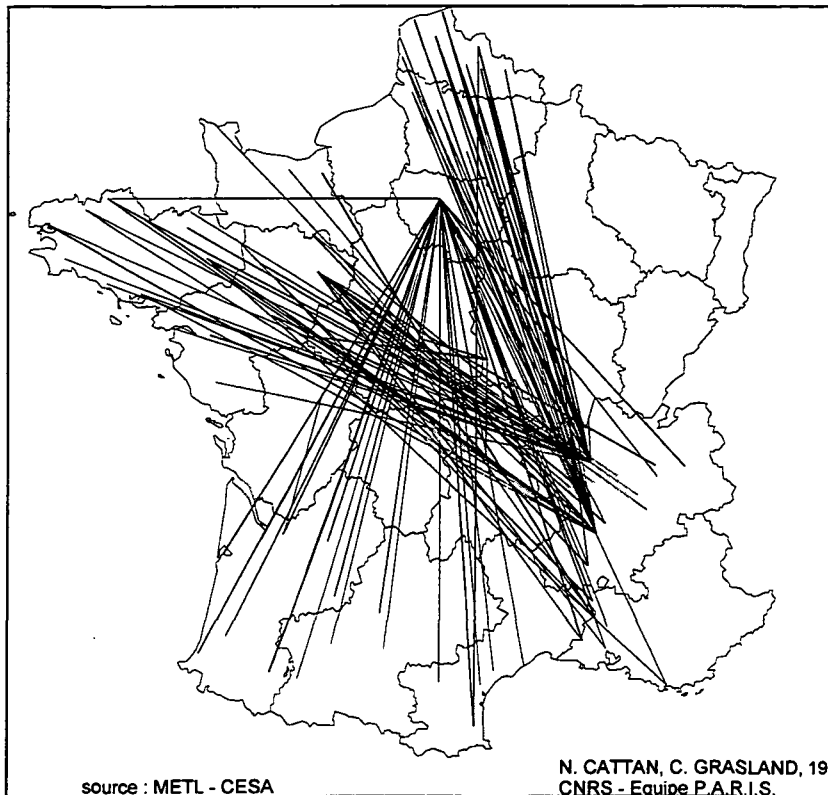


Les tronçons routiers les plus fréquentés par les itinéraires multimodaux optimaux permettent de définir les aires de rabattement par la route vers les gares qui constituent les nœuds identifiés précédemment. Ces aires de rabattement sont souvent assez étendues. Paris étend son aire d'influence sur les villes de Picardie, de Haute-Normandie, de Champagne-Ardenne, du Nord-Pas-de-Calais et même du nord de la Lorraine. Outre les habitants des villes de Rhône-Alpes, les habitants de certaines villes du sud-est ont intérêt à se rabattre, par la route, sur Lyon. Valence draine des habitants des villes de Provence-Côte-d'Azur et de l'est de Midi-Pyrénées, et le Mans ceux de Bretagne et de Basse-Normandie.

Ces rabattements routiers minimisent-ils l'ensemble des destinations des villes rabattues ou bien peut-on mettre en évidence des associations privilégiées, des parcours spécifiques pour lesquels le transport combiné offre les meilleurs temps de trajet ?

2.3.3. Les parcours privilégiés du transport combiné (fer)

Figure 2-12 : Les tronçons ferroviaires dans les parcours multimodes



Les tronçons ferroviaires les plus fréquentés par les itinéraires multimodaux optimaux permettent quant à eux de repérer quels sont les principales origines ou destinations ferroviaires entreprises par les voyageurs qui ont opéré un rabattement routier vers un nœud d'interconnexion multimodal.

On constate ainsi que les voyageurs qui ont opéré un rabattement routier vers Paris se dirigent ensuite massivement vers les villes du sud de la France. Ceux qui ont opéré un rabattement routier vers les nœuds ferroviaires de la vallée du Rhône privilégient quant à eux des destinations situées dans l'Ouest ou le Nord de la France, etc.

Une analyse plus précise (3.1) va permettre de préciser cette première esquisse de la géographie des liaisons multimodales potentiellement intéressantes.

3. EVALUATION DES AVANTAGES SPECIFIQUES DE CHAQUE MODE DE TRANSPORT

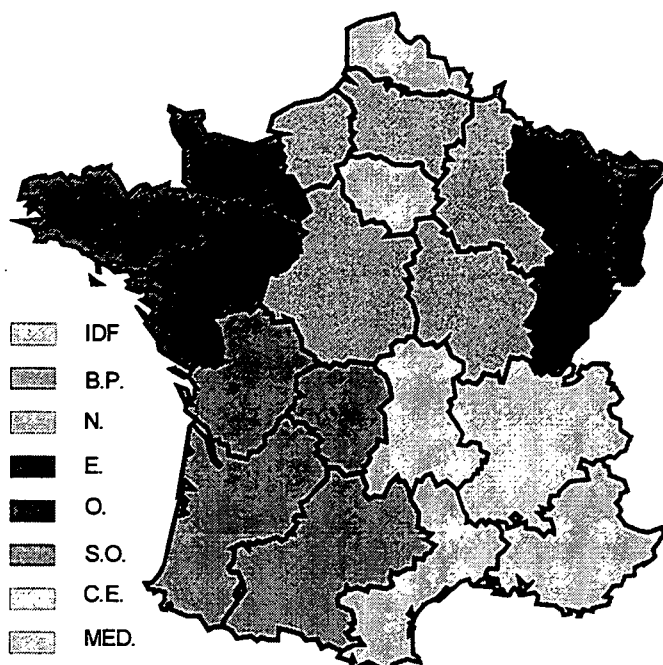
3.1. Part des différents modes en fonction des régions d'origine et de destination

3.1.1. Analyse des relations entre Z.E.A.T.

En ne considérant enfin que les régions d'appartenance des villes, on peut dresser les grandes lignes d'une géographie des liaisons multimodales potentiellement intéressante entre les composantes du territoire français. Le cadre d'agrégation retenu est celui des 8 Zones d'Etude et d'Aménagement

du Territoire (ZEAT) qui fournissent une image plus simple et surtout plus synthétique que les 22 régions de la nomenclature officielle (*Figure 3-1*).

Figure 3-1 : Carte des 8 zones d'étude et d'aménagement du territoire (Z.E.A.T.)



Le Tableau 3.1 indique pour chaque couple de ZEAT le nombre de liaisons interurbaines possibles (produit du nombre de ville des zones de départ et d'arrivée) et les fréquences des trajets optimaux par la route seule, le fer seul ou une combinaison de ces deux modes de transport. Sachant que la part moyenne des solutions multimodales est de 13% pour l'ensemble de la France, nous avons mis en évidence par un figuré grisé les couples de ZEAT pour lesquelles la part des solutions multimodales est supérieure à ce seuil.

On peut alors déterminer trois grands groupes de relations inter-régionales pour lesquelles les combinaisons multimodales offrent des gains supérieurs à la moyenne des temps de relation entre les villes françaises.

** Les relations entre la France du Nord (IDF, N., B.P.) et la France du Sud-Est (C.E., MED.)* sont celles pour lesquelles l'avantage du multimodal est le plus marqué, tant en fréquence absolue qu'en intensité relative. L'interconnexion des TGV Nord et Sud-Est explique sans doute largement ce bon résultat du multimodal. Au départ de la région Nord-Pas-de Calais, le modèle prévoit que la part des itinéraires multimodaux optimaux serait de 30% vers la ZEAT Centre-Est (Auvergne et Rhône-Alpes) voire de 52% vers la ZEAT Méditerranée (PACA et Languedoc-Roussillon). On peut cependant penser que la prise en compte du transport aérien (notamment des vols au départ de Nice) réduirait sérieusement les parts très élevées que l'on peut constater en faveur du ferroviaire et du multimodal, au moins pour certaines catégories d'usagers.

** Les relations entre la France de l'Ouest et la France du Sud-Est* fonctionnent sur le même schéma que les liaisons précédentes, l'interconnexion des TGV Ouest et Sud-Est étant ici le pivot des bons scores obtenus par le transport multimodal. Entre ces deux ensembles territoriaux, la part

potentielle du multimodal est encore très élevée (de l'ordre de 30%) mais l'effectif des relations inter-urbaine est beaucoup plus limité et la complémentarité économique des deux ensembles territoriaux concernés est sans doute beaucoup plus faible que dans le cas de la France du Nord et de la France du Sud-Est.

* *Les relations entre la France du Sud-Ouest et la France du Nord et de l'Est* correspondent à un schéma multimodal très particulier qui implique des trajets routiers importants et une interconnexion sur Paris. Dans la plupart des cas, les relations de ce type correspondent en effet à un trajet ferroviaire direct des villes du Sud-Ouest vers Paris, puis à un trajet routier pouvant atteindre plusieurs centaines de kilomètres entre Paris et les villes du nord et de l'est du bassin parisien. Dans le cas des villes du Nord, le trajet ferroviaire se poursuit jusqu'à Lille ou Arras, ce qui rend tout de même la combinaison multimodale plus plausible. Au total, la part potentiel du multimodal sur ce type de trajet est potentiellement assez élevée puisqu'elle est de l'ordre de 25% du S.O. vers les villes du nord et de l'est du bassin parisien et qu'elle atteint même 35 à 45% du S.O. vers le Nord-Pas-de-Calais.

Tableau 3-1 : Avantages relatifs du routier, du ferroviaire et du multimodal en fonction des ZEAT d'origine et des destinations

ZEATj	IDF	B.P.	N.	E.	O.	S.O.	C.E.	MED.	TOTAL
ZEATi									
IDF % Route	0%	43%	47%	46%	33%	14%	11%	0%	28%
% Fer	100%	56%	53%	54%	63%	76%	77%	74%	64%
% Mul.	0%	2%	0%	0%	3%	10%	13%	26%	7%
nb. liaisons	2	108	30	50	60	50	64	50	414
B.P. % Route	45%	78%	78%	91%	64%	42%	55%	37%	64%
% Fer	53%	18%	20%	8%	28%	32%	32%	30%	24%
% Mul.	2%	4%	3%	1%	7%	26%	14%	33%	12%
nb. liaisons	108	2862	810	1350	1620	1350	1728	1350	11178
N. % Route	40%	76%	53%	90%	30%	15%	17%	3%	44%
% Fer	60%	22%	47%	8%	63%	49%	53%	45%	39%
% Mul.	0%	2%	0%	3%	7%	36%	30%	52%	17%
nb. liaisons	30	810	210	375	450	375	480	375	3105
E. % Route	48%	91%	94%	70%	75%	60%	89%	88%	82%
% Fer	52%	8%	4%	29%	20%	15%	3%	1%	11%
% Mul.	0%	1%	1%	2%	5%	25%	8%	11%	7%
nb. liaisons	50	1350	375	600	750	625	800	625	5175
O. % Route	37%	67%	42%	76%	69%	81%	37%	42%	60%
% Fer	63%	27%	53%	18%	27%	15%	38%	24%	28%
% Mul.	0%	6%	5%	6%	4%	4%	25%	34%	12%
nb. liaisons	60	1620	450	750	870	750	960	750	6210
S.O. % Route	10%	41%	14%	59%	80%	54%	93%	84%	61%
% Fer	80%	30%	45%	14%	14%	46%	4%	14%	23%
% Mul.	10%	29%	40%	27%	7%	0%	4%	2%	16%
nb. liaisons	50	1350	375	625	750	600	800	625	5175
C.E. % Route	5%	56%	17%	89%	39%	90%	75%	83%	64%
% Fer	75%	29%	49%	3%	28%	4%	21%	13%	21%
% Mul.	20%	15%	34%	9%	32%	7%	3%	5%	14%
nb. liaisons	64	1728	480	800	960	800	992	800	6624
MED. % Route	0%	37%	3%	87%	44%	81%	83%	60%	56%
% Fer	74%	30%	54%	2%	22%	17%	13%	37%	24%
% Mul.	26%	33%	43%	11%	34%	2%	4%	3%	20%
nb. liaisons	50	1350	375	625	750	625	800	600	5175
TOT. % Route	28%	65%	47%	81%	59%	61%	64%	56%	63%
% Fer	64%	23%	37%	12%	27%	25%	24%	23%	24%
% Mul.	8%	12%	17%	7%	14%	14%	12%	20%	13%
nb. liaisons	414	11178	3105	5175	6210	5175	6624	5175	43056

 Part du multimodal supérieure à la moyenne

3.1.2. Analyse des relations Paris-province

En marge de l'étude des relations entre Z.E.A.T., une étude spécifique des modes de transport reliant les villes de province à la capitale permet de mettre en évidence leur singularité.

En effet, que l'on retienne le modèle 1 (*Figure 3-2*) ou le modèle 2 (*Figure 3-3*), que l'on considère les relations Paris-province ou province-Paris, les meilleurs temps d'accès pour relier une ville à la capitale sont presque toujours purement ferroviaires. Or, si le désavantage de la route face au fer pour les relations avec la capitale est un phénomène bien connu qui trouve ici sa confirmation (seule 1 à 5% des villes ont des temps d'accès à Paris plus courts par la route que par le rail), il n'en demeure pas moins étonnant de constater la faible part du transport combiné route-rail dans la

définition des trajets optimaux vers la capitale.

Même dans l'hypothèse la plus favorable au transport multimodal (**modèle 1** dont les résultats sont représenté sur la *Figure 3-2*), la part de celui-ci dans la définition des meilleurs temps d'accès vers la capitale ne dépasse pas 20% des liaisons alors que le taux moyen pour deux villes quelconques est de 53% d'après le modèle 1 (*Cf. 1.4.3*). Encore existe-t-il une assez forte dissymétrie selon que l'on effectue un trajet Paris-province (20% de liaisons multimodales optimales) ou province-Paris (14%).

Si l'on utilise les hypothèses plus réalistes de notre modèle de référence (**modèle 2** dont les résultats sont représenté sur la *Figure 3-3*), la part des liaisons multimodales se réduit encore (6% dans le sens Paris-province comme dans le sens province-Paris). Les seules villes qui tirent un avantage conséquent du multimodal pour leur relation avec la capitale sont des villes du quart sud-est de la France, mal reliées au réseau ferroviaire principal, et qui ont avantage à effectuer un rabattement routier vers Bourg-en-Bresse, Lyon ou Valence pour atteindre ensuite Paris par le réseau TGV. Sont, par exemple, dans ce cas : les villes d'Oyonnax, Thonon, Manosque, Cluses, Montceau-les-Mines.

Ces exceptions mises à part, on ne peut que constater la puissance de la centralisation du réseau ferroviaire autour de Paris et les gains d'accessibilité qu'il procure par rapport aux solutions routières ou multimodales dans 90 à 95% des cas. *L'efficacité du réseau ferroviaire est telle que, même en l'absence du réseau de transport aérien, la quasi totalité des villes de province peuvent être atteintes depuis Paris par le fer ou par une combinaison fer-route en moins de 6 heures.* Seules les villes du rebord méridional du massif central (Millau, Rodez, Albi, Castres, Mazamet) et celles de l'extrémité de la Côte d'Azur (Fréjus, Grasse, Menton, Nice) ont besoin de plus de 6 heures pour rejoindre Paris par les transports terrestres.

Figure 3-2 : Détermination de l'accessibilité optimale de Paris par la route, le fer et leur combinaison multimodale (Modèle 1)

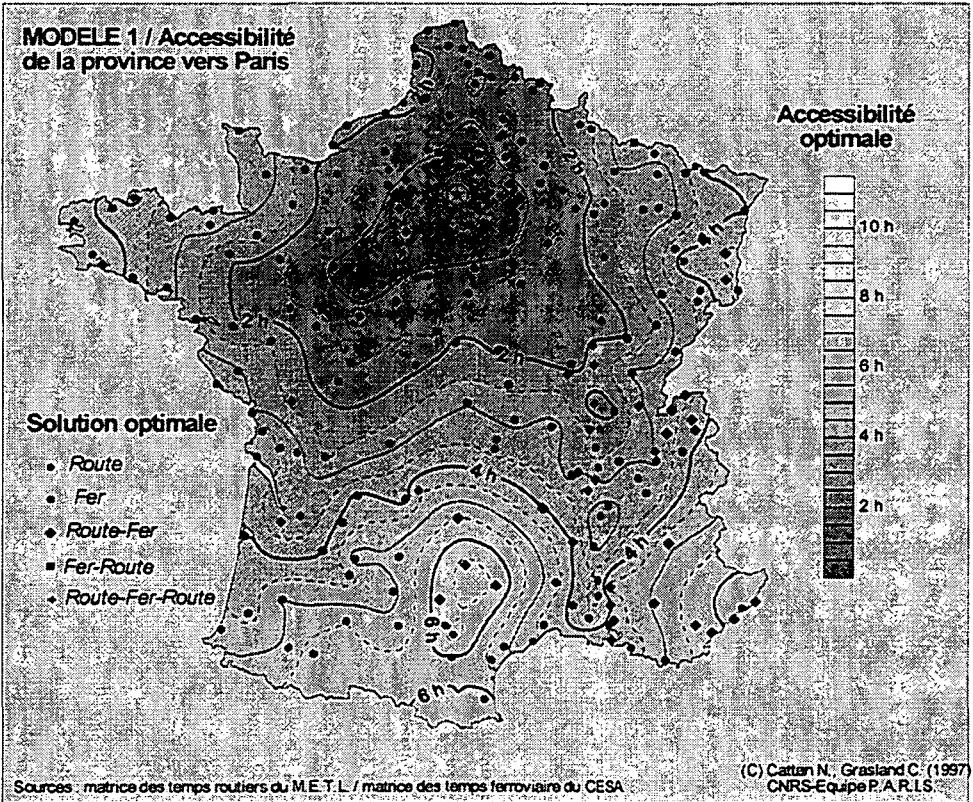
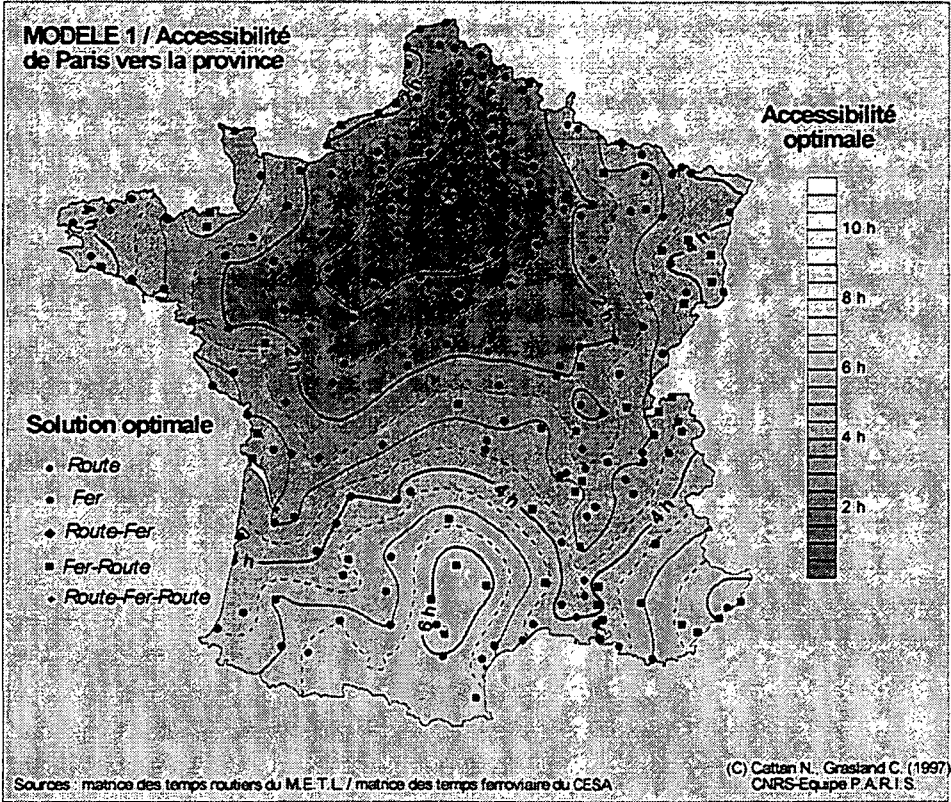
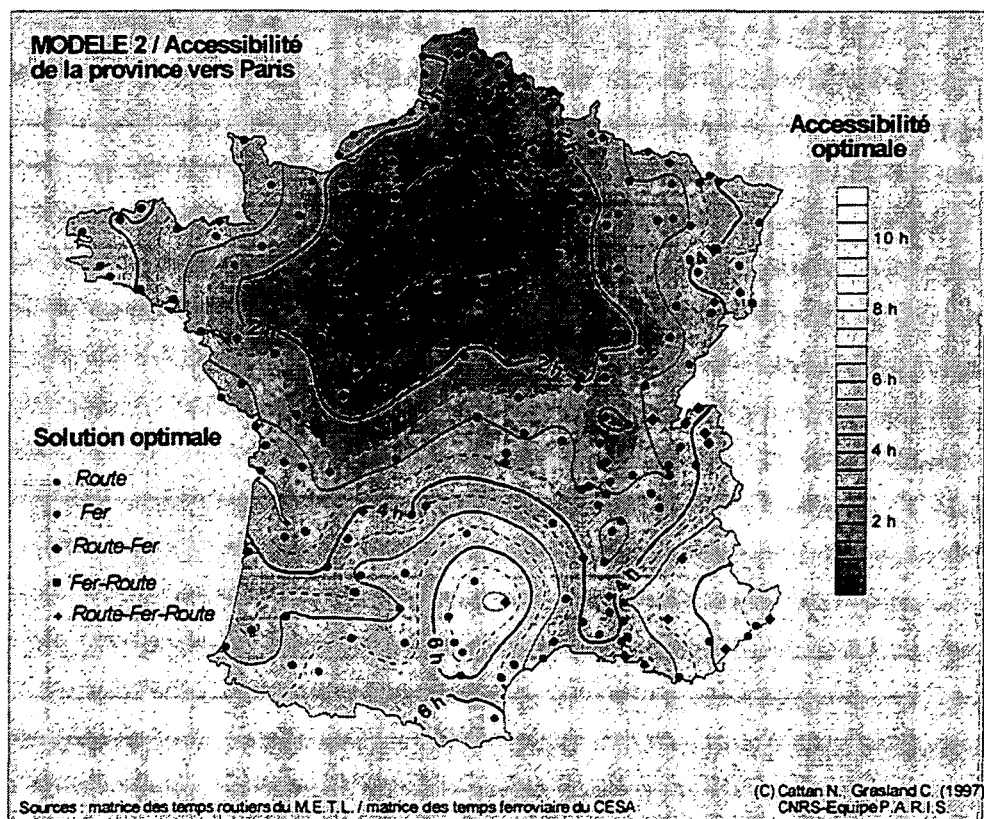
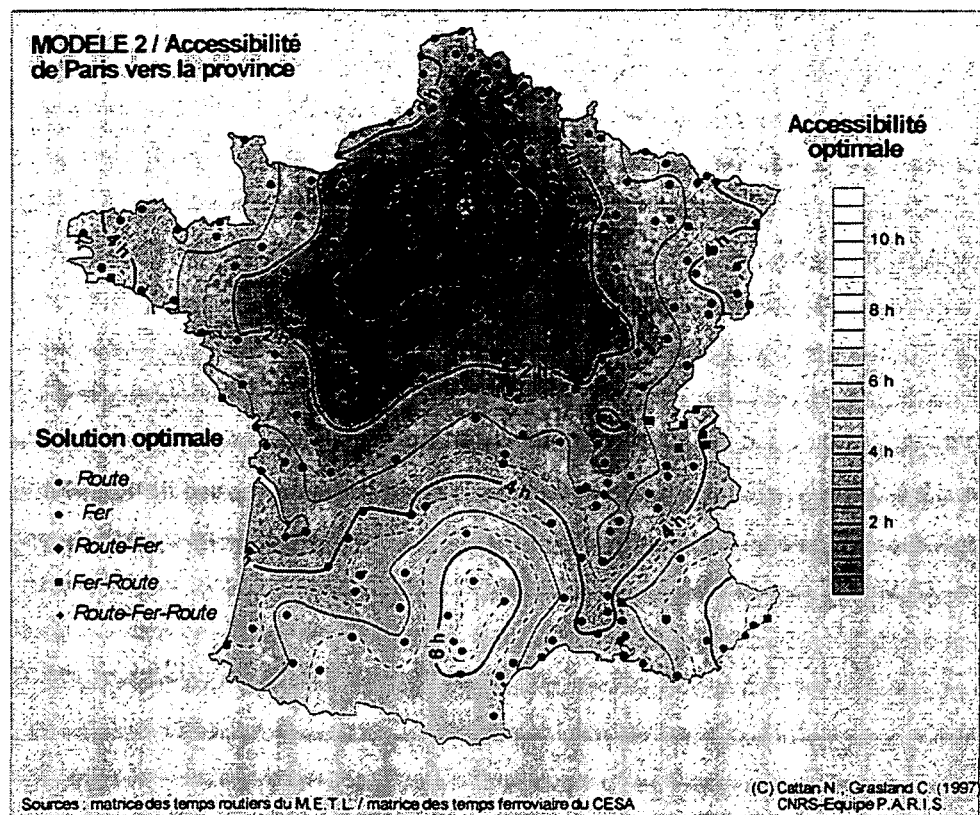


Figure 3-3 : Détermination de l'accessibilité optimale de Paris par la route, le fer et leur combinaison multimodale (Modèle 2)



3.2. Variations du mode de transport optimal en fonction de la distance et de la taille des villes

En considérant l'ensemble des liaisons possibles entre tous les couples de villes dans le calcul des fréquences respectives du routier, du ferroviaire et du multimodal nous avons omis jusqu'ici de prendre en compte la fréquentation réelle des liaisons interurbaines. Or, il est bien évident que les liaisons inter-urbaines les plus fréquentées sont celles qui relient les villes de tailles importantes et/ou celles qui relient les villes les plus proches.

3.2.1. L'influence de la taille des villes

Pour étudier tout d'abord l'influence de la taille des villes sur le choix du mode de transport, nous avons procédé, comme dans le premier rapport, à une segmentation des liaisons en fonction de la population de la ville d'origine et de celle de la ville de destination. Les seuils de taille retenus sont les mêmes que dans le premier volume de l'étude mais les effectifs sont légèrement différents puisque l'échantillon ne comporte plus que 208 villes au lieu de 239 (Tableau 3-2)

Tableau 3-2 : Distribution des liaisons entre les 208 villes de l'échantillon étudié par classes de taille

nombre de liaisons	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000	Total
Paris	0	6	22	27	48	104	207
500 à 1500 000	6	30	132	162	288	624	1242
200 à 500 000	22	132	462	594	1056	2288	4554
100 à 200 000	27	162	594	702	1296	2808	5589
50 à 100 000	48	288	1056	1296	2256	4992	9936
20 à 50 000	104	624	2288	2808	4992	10712	21528
Total	207	1242	4554	5589	9936	21528	43056

Pour chaque classe de population des villes d'origine et de destination, nous avons ensuite déterminé la fréquence des liaisons pour lesquelles le trajet optimal s'opère par la route, le fer ou leur combinaison multimodale.

Tableau 3-3 : Fréquence des trajets routiers optimaux en fonction de la taille des villes d'origine et de destination

% des liaisons interurbaines	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000	Total
Paris	-	0%	0%	0%	2%	5%	3%
500 à 1500 000	0%	20%	35%	34%	42%	50%	44%
200 à 500 000	0%	37%	47%	45%	57%	61%	56%
100 à 200 000	0%	36%	46%	40%	53%	56%	51%
50 à 100 000	4%	44%	59%	53%	64%	69%	64%
20 à 50 000	7%	52%	64%	57%	70%	73%	68%
Total	4%	45%	57%	52%	64%	68%	62%

La fréquence des liaisons routières optimales (au sens du modèle 2) est pour l'ensemble des paires de villes de 62%, mais le Tableau 3.3 met en évidence de très fortes variations autour de cette valeur de référence. L'examen des marges du tableau montre tout d'abord que la part du routier diminue assez régulièrement avec la taille des villes. Paris mis à part (4%), le nombre de destinations qui peuvent être atteintes plus rapidement par la route que par le fer ou le multimodal varie entre un peu moins de la moitié pour les villes de plus de 500 000 habitants (44%) et un peu plus des deux-tiers pour les villes de moins de 50 000 habitants (68%). Les conclusions sont les mêmes si l'on raisonne sur les origines plutôt que sur les destinations. La combinaison de la taille des villes d'origine et de destination (examen de l'intérieur du tableau) met en évidence une règle très simple : *l'accroissement de la part du routier est inversement proportionnel au volume d'interaction possibles entre deux villes, c'est-à-dire au produit de leur population*. Entre deux villes de plus de 500 000 habitants, la route ne représente la solution optimale qu'environ une fois sur cinq (20%) , alors qu'entre deux villes de moins de 50 000 habitants il est trois fois sur quatre (73%) plus avantageux d'utiliser la route que le train ou le transport combiné.

Tableau 3-4 : Fréquence des trajets ferroviaires optimaux en fonction de la taille des villes d'origine et de destination

% des liaisons interurbaines	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000	Total
Paris	-	100%	100%	96%	90%	88%	91%
500 à 1 500 000	100%	80%	56%	57%	47%	36%	45%
200 à 500 000	100%	56%	47%	46%	33%	27%	34%
100 à 200 000	100%	55%	42%	46%	32%	27%	33%
50 à 100 000	85%	47%	31%	33%	22%	17%	23%
20 à 50 000	87%	38%	25%	28%	17%	13%	18%
Total	90%	45%	32%	34%	23%	18%	24%

La fréquence des liaisons ferroviaires optimales (Tableau 3-4) obéit à une loi rigoureusement inverse de celle que nous avons mis en évidence pour le routier, mais avec des disparités encore plus accusées entre les classes de villes. Même si l'on écarte Paris, on constate que la fréquence des destinations pour lesquelles le fer garantit la meilleure accessibilité varie entre 18% pour les villes de moins de 50 000 habitants et 45% pour les villes de plus de 500 000 habitants. Il semble exister un seuil important autour de 100 000 habitants puisque l'on passe de 23% de destinations ferroviaires optimales pour les villes de 50-100 000 habitants à 33% pour les villes de 100-200 000 habitants. Cette valeur de 100 000 habitants correspond en fait au seuil d'apparition de gares importantes bien reliées à l'ensemble du territoire national et il n'est pas surprenant de constater que la part du fer est presque toujours supérieure à la route pour les relations entre les villes de plus de 100 000 habitants (part comprise entre 40 et 80%) alors que son importance est beaucoup plus réduite (part comprise entre 13 et 22%) pour les relations entre villes de 20 à 100 000 habitants. Le cas des relations entre les grandes villes (plus de 100 000 habitants) et les villes moyennes ou petites est un peu plus complexe. Les villes de moins de 50 000 habitants sont en général bien reliées par le fer à Paris (88%), mais elles accèdent beaucoup plus difficilement aux autres grandes villes de province par le fer (25 à 40%).

Tableau 3-5 : Fréquence des trajets multimodaux optimaux en fonction de la taille des villes d'origine et de destination

% des liaisons interurbaines	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000	Total
Paris	-	0%	0%	4%	8%	7%	6%
500 à 1 500 000	0%	0%	9%	9%	10%	14%	12%
200 à 500 000	0%	7%	6%	9%	10%	12%	10%
100 à 200 000	0%	9%	12%	14%	15%	17%	15%
50 à 100 000	10%	10%	10%	14%	14%	14%	14%
20 à 50 000	7%	10%	11%	15%	13%	14%	13%
Total	6%	9%	10%	14%	13%	14%	13%

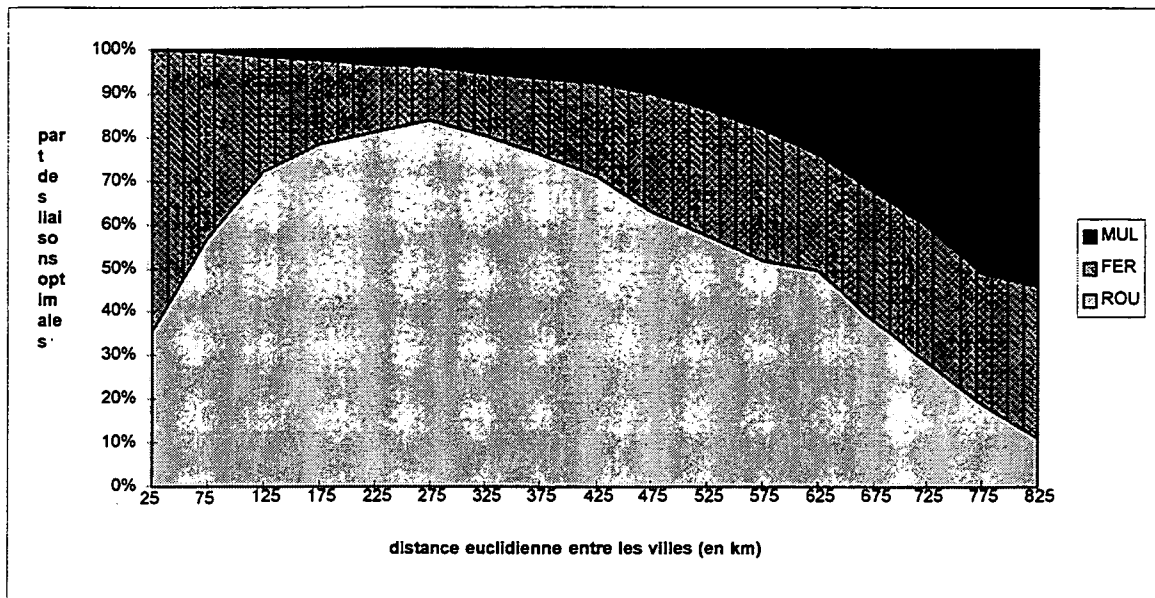
La fréquence des liaisons multimodales optimales (Tableau 3-5) est comme nous l'avons déjà vu assez réduite (13%) et elle varie relativement moins que celles du routier et du ferroviaire en fonction de la taille de la ville. Paris mis à part (6% de multimodal), les itinéraires multimodaux représentent une part assez voisine dans les itinéraires optimaux des villes grandes, moyennes ou petites (9 à 15%). Plus précisément, on observe assez peu de liaisons multimodales entre grandes villes de province (bien reliées par le fer) mais on en trouve une proportion à peu près aussi élevée entre les grandes et les moyennes (10 à 14%) qu'entre les moyennes entre elles (13 à 17%). Le multimodal occupe donc un créneau particulier, celui des relations des villes moyennes entre elles ou des villes moyennes avec les grandes villes, caractérisé par un déficit de liaisons ferroviaires directes ou suffisamment rapides. Mais comme ce créneau est également celui du routier pur, le multimodal ne peut s'imposer que dans les situations très particulières qui ont été décrites au cours de la partie précédentes (rabattement vers une gare importante et passage par des dorsales ferroviaires à la fois rapides et bien interconnectées).

3.2.2. L'effet de la distance

La concentration du multimodal sur les liaisons entre les villes de tailles moyennes plutôt que sur celles entre les grandes villes laisse présager que sa part réelle dans les déplacements voyageurs est probablement beaucoup plus réduite que celle que nous avons retenue jusqu'ici. Si l'on pondère la fréquence des liaisons optimales par le produit des populations d'origine et de destination, la part du multimodal tombe de 14 % à 6% tout comme celle de la route qui passe de 62% à 26%. Le chemin de fer qui est le mode de relation optimal entre les très grandes agglomérations voit au contraire sa part augmenter de 24% à 68%. Mais ces corrections demeurent discutables, ou du moins incomplètes, puisqu'elles ne tiennent pas compte de la distance des déplacements et de la décroissance des relations entre les villes en fonction de leur éloignement.

Ce qu'il faut donc maintenant examiner c'est l'influence de la distance sur les accessibilités routières, ferroviaires et multimodales des villes. Pour ce faire, nous avons procédé à un dénombrement des modes de transport optimaux (fer, route, multimodal) par classes de distance de 50 kilomètres (Figure 3-4). Cette figure montre clairement que la part des solutions multimodales est très variable selon la distance : inférieure à 5% jusque vers 400 km, elle n'est encore que de 10% vers 600 km mais s'accroît ensuite rapidement pour atteindre 50% vers 800 km. En d'autres termes, les solutions multimodales fer-route sont en général d'autant plus intéressantes que le voyageur effectue un trajet à longue voire très longue distance.

Figure 3-4 : Avantages comparatifs des différents modes en fonction de la proximité des villes



Malheureusement, ces très longues distances sont précisément celles où les transports terrestres commencent à subir de façon drastique la concurrence du transport aérien, ce qui rend assez douteux les avantages que posséderait le multimodal sur ce créneau par rapport à la route ou au fer seuls.

En ce qui concerne les solutions unimodales, on peut observer que le fer fait jeu égal avec la route pour les relations entre les villes situées à moins de 100 kilomètres, en raison de l'existence de réseaux ferroviaires régionaux bien organisés (Nord-Pas-de-Calais, Rhône-Alpes). La route demeure cependant généralement la solution optimale pour les relations à moyenne distance (100 à 500 km) et sa part potentielle culmine à près de 80% pour les trajets de l'ordre de 300 km. Quand à la part du transport ferroviaire, elle apparaît relativement stable, même elle augmente régulièrement entre 300 et 800 kilomètres pour passer de 15% à 30% des liaisons interurbaines.

3.2.3. L'effet conjoint de la distance et de la taille des villes

Combinant alors les effets conjoints de la population des villes et de la distance qui les sépare, on peut montrer pour quels créneaux de relations interurbaines le multimodal s'avère plus avantageux que les solutions purement ferroviaires ou purement routières. Le

Tableau 3-6 qui est en fait une décomposition du Tableau 3-5 par classes de distance permet de nuancer un certain nombre d'affirmations émises sur le rôle de la distance et de la taille des villes, lorsque l'on examine leurs effets de façon isolée.

En particulier, l'affirmation selon laquelle la part du multimodal varie en fonction inverse de la taille des villes d'origine et de destination n'est pleinement vérifiée que pour les trajets à longue distance (plus de 500 km). Pour les déplacements à moins de 500 km, la part du multimodal est très réduite (1% entre 0 et 150 km, 3% entre 150 et 300 km, 10% entre 300 et 500 km) mais les classes de villes qui en bénéficient le plus sont celles de 50 à 200 000 habitants bien plus que les villes de 20 à 50 000 habitants. A titre d'exemple, la fréquence des solutions multimodales optimales pour des trajets de 300 à 500 km est de 11% entre deux villes de 100-200 000 habitants alors qu'elle n'est que de 6% entre deux villes de 20-50 000 habitants.

- ⇒ **A moins de 500 kilomètres**, le multimodal n'est en effet véritablement intéressant que si l'une au moins des deux villes concernées est très bien reliée au réseau ferroviaire et si l'autre ne l'est pas. Si aucune des deux villes ne possède une bonne connexion ferroviaire, la route a toutes les chances d'être la solution optimale. Si au contraire les deux villes possèdent une bonne connexion ferroviaire, il est évident que c'est le fer seul qui constituera la meilleure solution. *A courte et moyenne distances, c'est donc la dissymétrie des infrastructures disponibles dans les villes d'origine et de destination (souvent associée à une dissymétrie des tailles de villes) qui favorise l'émergence de solutions multimodales optimales.*
- ⇒ **Au delà de 500 kilomètres**, le multimodal devient d'autant plus intéressant que les villes d'origine et de destination sont *l'une ou l'autre voire l'une et l'autre* dépourvues de bonnes infrastructures ferroviaires car la longueur du trajet permet de compenser les pertes de temps liées aux rabattements aussi bien pour la ville d'origine que pour la ville de destination. On observe ainsi que pour les trajets à plus de 500 kilomètres, la part des liaisons multimodales optimales augmente régulièrement avec la taille des villes : 0% entre deux villes de plus de 500 000 habitants, 14% entre deux villes de 200 à 500 000 habitants, 22% entre deux villes de 100-200 000 habitants, 30% entre deux villes de 50-100 000 habitants, 32 % entre deux villes de 20-50 000 habitants.. *Mais ce n'est que pour les trajets à longue distance que l'on observe cette proportionnalité entre la fréquence du multimodal et le produit de la population des villes d'origine et de destination.*

Tableau 3-6 : Variation du pourcentage de liaisons multimodales optimales en fonction de la distance et de la taille des villes

(a)

Multimodal < 150 km	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000	Total
Paris	-	0%	0%	0%	0%	0%	0%
500 à 1 500 000	0%	0%	0%	9%	4%	0%	2%
200 à 500 000	0%	0%	0%	2%	0%	1%	0%
100 à 200 000	0%	9%	0%	4%	2%	1%	2%
50 à 100 000	0%	4%	0%	2%	2%	1%	1%
20 à 50 000	0%	0%	0%	1%	1%	4%	1%
Total	0%	2%	0%	2%	1%	1%	1%

(b)

Multimodal 150 à 300 km	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000	Total
Paris	0%	0%	0%	0%	0%	4%	2%
500 à 1 500 000	0%	0%	0%	3%	0%	0%	1%
200 à 500 000	0%	0%	0%	2%	2%	2%	2%
100 à 200 000	0%	0%	1%	3%	4%	4%	3%
50 à 100 000	0%	0%	2%	5%	7%	5%	5%
20 à 50 000	4%	0%	3%	3%	5%	2%	3%
Total	2%	0%	2%	3%	5%	3%	3%

(c)

Multimodal 300 à 500 km	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000	Total
Paris	-	0%	0%	10%	11%	10%	9%
500 à 1 500 000	0%	0%	3%	8%	8%	5%	6%
200 à 500 000	0%	0%	1%	8%	5%	5%	5%
100 à 200 000	0%	8%	10%	11%	12%	10%	11%
50 à 100 000	11%	7%	5%	12%	9%	9%	9%
20 à 50 000	7%	3%	4%	11%	8%	6%	6%
Total	6%	4%	5%	11%	8%	7%	10%

(d)

Multimodal > 500 km	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000	Total
Paris	-	0%	0%	0%	18%	10%	9%
500 à 1 500 000	0%	0%	16%	11%	18%	29%	22%
200 à 500 000	0%	13%	14%	14%	23%	27%	22%
100 à 200 000	0%	14%	21%	22%	29%	34%	29%
50 à 100 000	27%	18%	24%	26%	30%	31%	28%
20 à 50 000	14%	22%	26%	29%	29%	32%	30%
Total	14%	18%	23%	25%	28%	31%	28%

3.3. Evaluation des gains d'accessibilités procurés par le fer et la combinaison multimodale fer-route pour les relations inter-urbaines

Pour finir, nous allons essayer de quantifier l'influence du fer et du multimodal sur le temps moyen de relation entre les villes et sur l'efficacité de cette mise en relation mesurée par la *vitesse euclidienne moyenne*, c'est-à-dire le temps nécessaire (mesuré en heures) pour franchir la distance à vol d'oiseau (mesurée en kilomètres) séparant deux villes. Cette vitesse euclidienne moyenne est en général inférieure de 20 à 30 % à la vitesse réelle sur route ou sur réseau ferroviaire, puisqu'elle ne tient pas compte des détours éventuels qu'implique l'itinéraire optimal. Mais nous avons montré dans le premier volume de ce rapport (Cattan N., Grasland C., 1997) qu'elle fournit une bonne mesure de l'efficacité des relations interurbaines puisqu'elle tient compte à la fois de la présence des infrastructures (trajet plus ou moins linéaire) et de leur performance (vitesse sur le réseau).

En calculant successivement pour chaque classe de taille de villes les vitesses euclidiennes moyennes par la route (R), par la meilleure solution unimodale (R ou F) et par la meilleure solution uni- ou multimodale (R, F, RF, FR ou RFR), on peut déterminer si le fer et le multimodal contribuent à renforcer ou au contraire à atténuer les inégalités d'accessibilité entre les grandes villes et les villes moyennes. Il suffit en effet pour cela d'examiner si l'ajout d'une solution de transport (le fer par rapport à la route, le multimodal par rapport à l'unimodal) provoque un accroissement de la vitesse euclidienne de relation indépendant de la taille des villes ou non. Dans la pratique, cela revient à examiner les variations entre les vitesses contenues dans les différentes parties du *Tableau 3-7*.

Tableau 3-7 : Vitesse euclidienne moyenne de relation en fonction de la taille des villes et du mode de transport (en km/h)

(a)

ROUTE (R)	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000
Paris	-	85	83	83	79	78
500 à 1 500 000	85	82	78	77	76	74
200 à 500 000	83	78	77	76	75	74
100 à 200 000	83	77	76	76	74	73
50 à 100 000	79	76	75	74	72	71
20 à 50 000	78	74	74	73	71	70

(b)

UNIMODAL (R ou F)	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000
Paris	-	138	125	133	111	107
500 à 1 500 000	136	99	87	87	83	79
200 à 500 000	124	88	84	83	79	77
100 à 200 000	129	87	82	83	78	76
50 à 100 000	109	83	78	78	75	73
20 à 50 000	106	79	77	76	73	71

(c)

MULTIMODAL (R,F,RF,FR,RFR)	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000
Paris	-	138	125	133	113	109
500 à 1 500 000	136	99	88	87	83	80
200 à 500 000	124	88	84	84	80	78
100 à 200 000	129	87	83	84	79	77
50 à 100 000	110	83	79	79	75	73
20 à 50 000	107	80	77	77	73	72

3.3.1. Les gains d'accessibilité du fer par rapport à la route favorisent principalement les relations des grandes villes entre-elles.

Par rapport au transport routier, le transport ferroviaire provoque tout d'abord un accroissement considérable de la vitesse de relation entre Paris et les autres villes. Ce renforcement de l'accessibilité depuis et vers Paris profite à toutes les villes, même si les villes grandes ou très grandes en profitent un peu plus (vitesse de relation accrue de 50 à 65 %) que les villes moyennes (+35% à +40%).

Tableau 3-8 : Les gains du fer par rapport à la route en fonction de la taille des villes

Acc. Vitesse (en %)	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000
Paris	-	62%	50%	60%	41%	37%
500 à 1 500 000	60%	21%	13%	12%	10%	7%
200 à 500 000	49%	13%	8%	9%	5%	4%
100 à 200 000	56%	13%	8%	9%	6%	4%
50 à 100 000	38%	9%	5%	6%	4%	3%
20 à 50 000	35%	7%	4%	5%	3%	2%

En dehors de Paris, le fer procure encore des gains d'accessibilité confortables aux très grandes métropoles (plus de 500 000 habitants) qui accroissent de 21% leur vitesse de relation entre elles et de

7 à 13 % leur vitesse de relation avec les villes de taille plus petite. Mais les gains d'accessibilité liés au ferroviaire diminuent rapidement en fonction de la taille des villes d'origine et de destination. Ainsi le ferroviaire n'apporte déjà plus qu'un gain de 8-9% pour les relations entre deux villes de 100 000 à 500 000 habitants et de 2-4% pour les relations entre deux villes de moins de 100 000 habitants.

Le transport ferroviaire opère donc un renforcement considérable des inégalités d'accessibilité entre les villes en fonction de leur taille. Beaucoup plus sélectif que la route, le transport ferroviaire favorise avant tout les relations de Paris avec l'ensemble des autres villes et, secondairement, les relations des grandes ou des très grandes villes de province entre elles.

3.3.2. Le multimodal accentue les inégalités d'accessibilité liées à la taille des villes

Au vu de la fréquence malgré tout élevée des itinéraires multimodaux optimaux entre villes moyennes, on aurait pu supposer que la combinaison multimodale route-fer apporterait quelques corrections à la tendance qu'introduit le transport ferroviaire au renforcement des inégalités entre les villes en fonction de leur taille. A l'évidence, il n'en est rien (*Tableau 3-9*).

Tableau 3-9 : Les gains du multimodal par rapport à l'unimodal en fonction de la taille des villes

Acc. Vitesse (en %)	Paris	500 000 à 1 500 000	200 000 à 500 000	100 000 à 200 000	50 000 à 100 000	20 000 à 50 000
Paris	-	0.0%	0.0%	0.5%	1.4%	1.4%
500 à 1 500 000	0.0%	0.0%	0.3%	0.3%	0.5%	1.1%
200 à 500 000	0.0%	0.2%	0.2%	0.4%	1.0%	1.2%
100 à 200 000	0.0%	0.2%	0.7%	0.8%	1.2%	1.3%
50 à 100 000	1.0%	0.6%	0.8%	0.9%	0.9%	1.1%
20 à 50 000	0.8%	0.8%	0.7%	1.0%	1.0%	1.0%

Les accroissements de la vitesse de relation que procure le passage de l'unimodal au multimodal sont totalement insignifiants lorsque l'on considère l'ensemble des villes par classe de taille. Les villes de moins de 100 000 habitants sont sans doute celles qui en bénéficient le plus (+1% à +1.5 % de vitesse moyenne de relation) mais c'est autant grâce à un gain dans leurs relations avec Paris qu'à un gain dans leurs relations les unes avec les autres.

La prise en compte simultanée de la route et du fer aboutit à une image encore plus pessimiste des différentiels d'accessibilités entre les villes en fonction de leur taille que celle que nous avons dressée dans le premier volume de ce rapport. Car le fer renforce fortement les différentiels d'accessibilité au profit des plus grandes villes tandis que la combinaison multimodale fer-route produit des effets insignifiants à l'échelle de l'ensemble du réseau urbain.

4. CONCLUSION

En raison de son caractère exploratoire (recours à un modèle de simulation dont les paramètres doivent être validés par des études empiriques) le présent travail ne saurait fournir dans l'immédiat des conclusions opérationnelles, mais il permet de formuler un certain nombre d'hypothèses sur les rôles respectifs du fer, de la route et de leur combinaison multimodale dans la mise en relation des villes françaises de plus de 20 000 habitants. Il indique par ailleurs certains prolongements possibles des recherches.

4.1. Le transport ferroviaire accroît les inégalités d'accessibilité au profit des plus grandes villes

Que l'on considère le nombre de destinations qui peuvent être atteintes par le train en une journée ou les gains d'accessibilité que procure le fer par rapport à la route, il ressort clairement que les liaisons ferroviaires accroissent considérablement les différentiels d'accessibilité entre les grandes métropoles et les villes moyennes ou petites. Le réseau ferroviaire rapide a certes profité au premier chef à la capitale nationale, mais la plupart des grandes métropoles provinciales ont également pu en tirer des avantages importants en terme d'accessibilité les unes par rapport aux autres. La rocade TGV de contournement de Paris et la mise en place de trains directs sans arrêt à Paris ont contribué à réduire considérablement les temps de trajets entre des villes telles que Lyon, Lille ou Rennes et le reste de la France. Si les villes moyennes sont désormais presque toutes mieux reliées à Paris par le fer que par la route, elles bénéficient plus rarement de bonnes liaisons ferroviaires vers les autres métropoles du territoire français et, *a fortiori*, entre elles. Toutes choses égales quand à la distance, la route représente dans la majorité des cas le moyen de transport optimal pour se rendre d'une ville moyenne à une autre tandis que le fer est généralement la solution optimale pour relier les grandes villes entre elles. Certaines villes moyennes situées directement sur le réseau TGV ou à proximité de celui-ci bénéficient des mêmes avantages que les grandes métropoles, mais elles demeurent des exceptions (Vendôme, Le Mans, Valence, Le Creusot, Arras).

4.2. La combinaison multimodale fer-route ne procure généralement que des gains d'accessibilité minimes aux villes moyennes.

On aurait pu supposer que la combinaison multimodale fer-route profiterait au premier chef aux villes moyennes en leur permettant de bénéficier des liaisons TGV rapide au prix d'un rabattement routier vers une gare plus importante. Or, cette hypothèse ne se confirme que très partiellement, dès lors que l'on prend en compte les pertes de temps liées au temps d'interconnexion (surtout quand le rabattement s'opère vers des villes de taille importante où il faut tenir compte des phénomènes d'engorgement et de saturation du réseau routier).

Lorsque l'on prend en compte ces pénalités, le nombre de liaisons interurbaines pour lesquelles la combinaison multimodale fer-route procure un gain d'accessibilité par rapport au transport unimodal (route ou fer) ne semble pas dépasser 10 à 15%. Ces liaisons multimodales optimales concernent surtout les trajets d'une ville moyenne vers une autre ville moyenne ou vers une grande ville, mais pour ainsi dire jamais les relations entre deux grandes villes ou entre une ville quelconque et Paris. Dans ces deux derniers cas, c'est le fer seul qui donne généralement les solutions optimales.

Cette part de 14% de liaisons multimodales optimales demeure cependant probablement encore

très surestimée car elle ne tient pas compte des effectifs mis en jeu (deux petites villes ont a priori moins de relation que deux grandes, toutes choses égales quand à la distance). Si l'on pondère la fréquence des liaisons optimales par le produit de la population des villes d'origine et de destination, la part du multimodal est pratiquement réduite de moitié (6.2%).

Et cette valeur est encore probablement trop élevée car elle ne tient pas compte de la réduction des interactions avec la distance. Or, ce n'est que pour les trajets supérieurs à plus de 500 km que la part du multimodal dans les solutions optimales atteint ou dépasse 10%. Le temps perdu au cours de l'interconnexion entre le fer et la route ne peut en effet être compensé que sur un trajet de plusieurs heures et plusieurs centaines de kilomètres, mais de tels trajets sont précisément moins fréquents que les trajets à plus courte distance. Si l'on essaye d'estimer le nombre de trajets réels pour lesquels le multimodal pourrait représenter la solution optimale (en pondérant la fréquence des liaisons par le produit des populations des villes divisé par le carré de la distance qui les sépare), on trouve à peine 1% des déplacements pour lesquels le voyageur aurait intérêt à utiliser une combinaison des transports ferroviaires et routiers (*Tableau 4-1*)

Tableau 4-1 : Variation de la fréquence des solutions optimales en fonction du critère de pondération des liaisons interurbaines

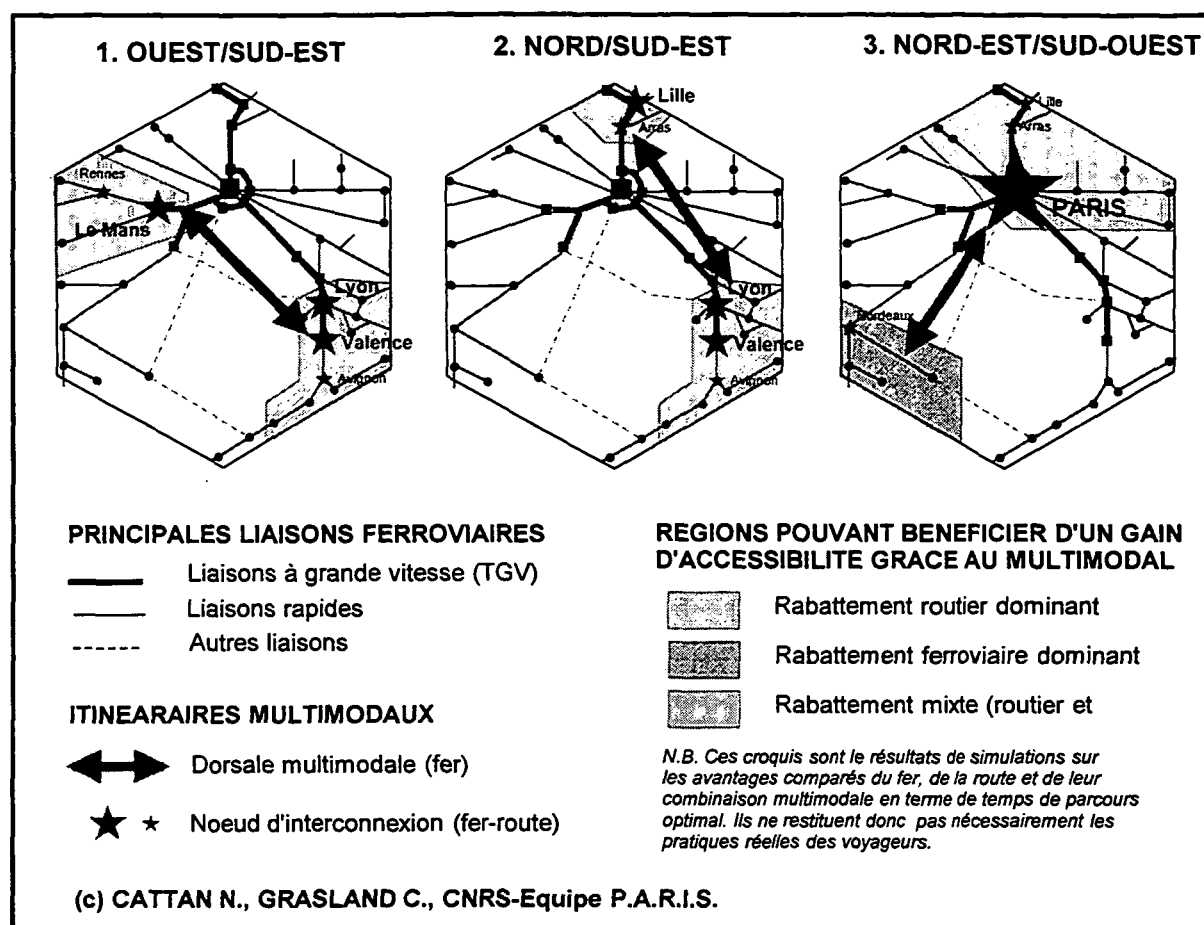
Solution optimale		% des liaisons interurbaines pondérées par ...			
(Modèle 2)		<i>non pond.</i>	$P_i P_j$	$P_i P_j / D_{ij}$	$P_i P_j / D_{ij}^2$
Unimodal	F	24.0%	67.9%	69.9%	73.6%
	R	62.8%	25.7%	26.8%	25.4%
	sous-total	86.8%	93.6%	96.7%	99.0%
Multimodal	F-R	7.8%	3.8%	2.0%	0.6%
	R-F	5.2%	2.6%	1.3%	0.4%
	R-F-R	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
	sous-total	13.2%	6.4%	3.3%	1.0%

Cette conclusion pessimiste est cependant peut être à nuancer par le fait que nous n'avons considéré ici que les déplacements entre les villes de plus de 20 000 habitants disposant d'une gare, ce qui élimine de l'étude tous les déplacements ayant pour origine ou destination une commune rurale, une ville de moins de 20 000 habitants ou une ville de plus de 20 000 habitants dépourvu de gare. Or, ce sont précisément ces portions du territoire qui sont le plus susceptibles d'effectuer des rabattements routiers vers une gare importante en vue d'effectuer un trajet multimodal. Il n'en demeure pas moins vrai que les combinaisons multimodales semblent devoir jouer un rôle très limité dans le développement des relations interurbaines.

4.3. Il existe trois grands itinéraires pour lesquels la combinaison multimodale fer-route pourrait procurer des gains d'accessibilité significatifs.

Pour autant que l'on puisse valider les hypothèses du modèle retenu par des enquêtes et des études empiriques auprès des voyageurs, il semble exister trois situations où le transport combiné procure des gains significatifs de temps par rapport au transport unimodal (*Figure 4-1*).

Figure 4-1 : Schéma des principales trajectoires multimodales fer-route



⇒ Entre l'Ouest et le Sud-Est, les itinéraires multimodaux exploitent une dorsale ferroviaire combinant les TGV ouest (Le Mans-Paris) et sud-est (axe Paris-Lyon-Valence). Des trains très nombreux permettent en effet de relier Le Mans à Lyon ou Valence en moins de cinq heures et, si la plupart supposent une correspondance à Paris, la présence de la rocade TGV au sud de Paris permet l'établissement de liaisons directes encore plus performantes. Un voyageur partant du Mans à 9h00 un lundi peut prendre un train direct pour Lyon qui arrive à 12h09. Après une correspondance de 11 minutes, il peut prendre un TGV pour Valence où il arrivera à 13h00. Il peut également prendre un TGV direct Le Mans-Valence qui part à 9h00 et arrive à 13h13. Le fait de pouvoir se rendre du Mans à Lyon et Valence en à peine plus de 3 ou 4 heures (respectivement) autorise alors toute une série de rabattements autour de cette dorsale ferroviaire pour les personnes habitant dans des villes situées à proximité ou dans le prolongement des axes TGV. Dans le sud-est, les rabattements se font en majorité par la route car cette dernière fait en général jeu égal avec le train, dès qu'on s'éloigne du sillon rhodanien. Les villes du nord des Alpes ont ainsi avantage à opérer des rabattements routiers plutôt que ferroviaires vers Lyon ou Mâcon, tandis que celle du littoral méditerranéen, des Alpes du Sud et des Cévennes ont avantage à rejoindre les gares de Valence ou Avignon pour bénéficier de dessertes ferroviaires plus nombreuses, plus rapides et plus directes vers la France de l'Ouest. En ce qui concerne les villes de l'Ouest, le rabattement routier vers le Mans est concurrencé par la présence de bonnes liaisons ferroviaires vers cette même ville depuis Brest ou Quimper. Une partie des trajectoires multimodales transitent d'ailleurs par Rennes qui est le terminus des trains directs en provenance de la vallée du Rhône.

- ⇒ *Entre le Nord et le Sud-Est*, le schéma est le même que précédemment, la dorsale multimodale étant constituée ici de la connexion entre les TGV nord et sud-est et la possibilité de se rendre directement de Lille ou Arras à Lyon, Valence et Avignon sans changer de train à Paris. Un voyageur partant de Lille pour Avignon un lundi matin trouvera par exemple deux TGV directs qui l'amènent à destination en cinq heures (5h54-10h50 et 8h36-13h56), ce qui là encore autorise de très nombreuses combinaisons de rabattement routier ou ferroviaire autour des gares situées sur le tracé de cet axe. Si les rabattements vers les gares de la vallée du Rhône demeurent essentiellement routiers, les villes du nord sont souvent bien reliées à Lille ou Arras par le train et peuvent envisager des rabattements ferroviaires plutôt que routier vers l'axe TGV-nord. La multimodalité des liaisons entre le Nord et le Sud-Est vient donc principalement des trajets routiers finaux exécutés entre la vallée du Rhône et les villes des Alpes et du rebord oriental du Massif central. Quand aux relations multimodales prévues par le modèle entre les villes de la Côte d'Azur et celle du Nord-Pas-de-Calais (via Avignon ou Valence) elles sont beaucoup moins plausibles que celles qui avaient été détectées vers l'Ouest car les voyageurs pressés ont probablement beaucoup plus intérêt ici à profiter des liaisons aériennes nombreuses et relativement bon marché entre Nice et Paris pour rejoindre ensuite les villes du Nord par le TGV ou par l'autoroute (surtout si l'atterrissage s'effectue à Roissy plutôt qu'à Orly, ce qui facilite les connexions).
- ⇒ *Entre le Nord-Est et le Sud-Ouest*, les liaisons multimodales détectées par le modèle présentent la particularité de transiter presque toutes par Paris. La situation typique est celle d'un voyageur partant d'une ville du nord ou de l'est du bassin parisien qui se rend à Paris en voiture puis prend le TGV sud-ouest pour atteindre une ville d'Aquitaine ou de Midi-Pyrénées (ou qui effectue le trajet en sens inverse et loue une voiture à Paris pour rejoindre sa destination en Picardie, Champagne, Normandie ou Lorraine). Un cas nettement moins fréquent est celui des rabattements routiers vers les gares de la ligne du TGV-nord (Lille, Arras) suivi d'un trajet ferroviaire vers le sud-ouest. Malgré l'existence de TGV directs permettant de relier Lille à Bordeaux en cinq heures, la connexion des TGV nord et sud-ouest semble moins favorable au développement de liaisons multimodales que les deux précédentes. Ce résultat semble s'expliquer par le fait que les trajets purement ferroviaires sont souvent les plus intéressants entre le nord et le sud-ouest, en raison de la qualité moyenne des infrastructures routières du sud-ouest et de l'importance des pénalités de changement de mode encourues dans des villes de la taille de Bordeaux et de Toulouse. Si les changements de mode à Paris demeurent intéressants (malgré une pénalité de changement de mode de l'ordre de 1 heure et demi), c'est que de nombreuses villes du nord et de l'est du bassin parisien sont plus accessibles par la route que par le rail. Même si de tels trajets demeurent assez hypothétiques en raison de l'importance du trajet routier qu'ils impliquent, ils n'ont rien d'impossible, surtout si le voyageur effectue son rabattement vers une gare TGV périphérique (Roissy, Marne-la-Vallée, Massy) où il pourra déposer son véhicule personnel (sens NE-SO) ou en louer un (sens SO-NE).

4.4. Le recours à la simulation semble être une voie prometteuse pour la planification des transports terrestres et l'aménagement du territoire ...

Le modèle de simulation que nous avons élaboré pour déterminer les variations de l'accessibilité des villes françaises en fonction du mode de transport retenu pourrait ouvrir des perspectives intéressantes aux responsables de l'aménagement du territoire et aux grands opérateurs des réseaux de transport.

- ⇒ *L'évaluation du réseau actuel de transports terrestres* a permis par exemple de dégager toute une série d'hypothèses sur les avantages comparatifs de la route, du fer et de leur combinaison multimodale en fonction de la distance, de la taille des villes, de leur connexion au réseau TGV, etc. Plus précisément, elle a permis de localiser les nœuds et les axes autour desquels les combinaisons multimodales semblent les plus performantes. Partant de ce constat, on pourrait en inférer une série d'aménagements destinés à rendre ce type de transport plus efficace, par exemple en développant des parkings, des réseaux de bus rapides ou des services de location de voiture «bon marché» autour des principales gares de rabattement qui ont été mises en évidence.
- ⇒ *L'évaluation prospective du réseau de transport* pourrait quant à elle utiliser le modèle de simulation pour évaluer les conséquences d'un nouvel aménagement routier (autoroute Clermont-Ferrand-Nîmes) ou ferroviaire (TGV-Est, rocade ouest de TGV autour de Paris) sur la distribution des modes de transports optimaux en France. Il faudrait pour cela commencer par recalculer les temps routiers et ferroviaires des bases du METL et du CESA, puis examiner les résultats de leur combinaison multimodale à l'aide de l'algorithme du plus court chemin sur multigraphe mis au point par M.E. Bouzgarrou en conservant les mêmes paramètres que ceux qui ont été utilisés dans ce rapport (**modèle 2**). On pourrait alors évaluer l'impact potentiel de ces nouvelles infrastructures en termes de gain d'accessibilité et de redistribution possible des déplacements entre les différents modes.

4.5. ... mais l'élaboration de modèles de simulation réalistes supposerait le recours à des études empiriques et la prise en compte de facteurs beaucoup plus nombreux que ceux qui ont été utilisés dans le cadre de cette étude.

Au terme de cette étude, il faut mettre encore une fois en garde le lecteur contre toute interprétation abusive des résultats présentés et souligner qu'il s'agit avant tout *d'hypothèses et de pistes de recherche* qui demandent à être confirmées par des travaux plus systématiques tant sur le plan théorique que sur le plan empirique.

La spécialisation des deux auteurs de l'étude dans le domaine de la géographie les a sans doute conduit à privilégier dans l'analyse les aspects qui leur étaient les plus familiers (réseau urbain, interaction spatiale, accessibilité) et à négliger de nombreux facteurs relevant davantage de la science des transports, de l'économie, de la sociologie ou de la psychologie.

Ce travail ne prendra véritablement sens que si précisément de nouvelles études conduisent soit à en corroborer les hypothèses soit à les infirmer en suggérant des améliorations ou des modifications permettant d'aboutir à un modèle plus complet. A cet égard, notre principal regret est de n'avoir pu disposer de résultats d'études empiriques ou d'enquêtes au moment de l'étape de calibrage du modèle. Même effectuées sur des échantillons de taille limitée, des enquêtes convenablement stratifiées sur le comportement des voyageurs face à différentes hypothèses de transport auraient permis d'enrichir considérablement les simulations. Quant à l'étape de validation du modèle, elle aurait mérité que l'on recoure à des tests plus poussés, ne serait-ce que par le dénombrement des plaques d'immatriculations des voitures sur les parking des gares reconnues comme point de rabattement possibles du transport multimodal, par des enquêtes auprès des voyageurs

