

L'ACCESSIBILITÉ AUX GRANDES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT : ANALYSE ET MODÉLISATION

Laurent CHAPELON

Centre d'Etudes Supérieures d'Aménagement
Université de Tours

Résumé

Le logiciel NOD, développé au laboratoire du CESA, a été conçu pour permettre l'évaluation des répercussions spatio-temporelles de projets de modification de l'offre de transport (infrastructures, réglementations, fréquences, horaires, etc.). Dans ce cadre, un module spécifique vient d'être développé afin de tester les critères d'accessibilité retenus par la loi d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire.

La loi stipule qu'en 2015, « aucune partie du territoire métropolitain continental ne sera située à plus de 50 kilomètres ou de 45 minutes d'automobile soit d'une autoroute ou d'une route express à 2 fois 2 voies en continuité avec le réseau national, soit d'une gare desservie par le réseau ferroviaire à grande vitesse ». Notre principe de modélisation, basé sur la description des réseaux par des graphes valués, nous a permis, après détermination automatique des fonctions nodales et calcul des cheminements optimaux en temps et en kilomètres, de caractériser chaque nœud selon : 1) le nombre et la nature des critères respectés ; 2) l'excédent ou le déficit d'accessibilité par rapport à chaque critère pris séparément ; 3) les fonctions assurées par le nœud majeur le plus proche des nœuds étudiés.

Les cartes d'accessibilité produites montrent les zones d'intervention nécessaire pour respecter les critères de la loi mais également pour tout critère défini par l'utilisateur du modèle. A ce titre, une modification du seuil temporel d'accessibilité aux infrastructures rapides a été simulée (test avec 30 et 60 minutes) afin d'étudier l'évolution des zones d'intervention. Les applications portent sur l'espace français (518 nœuds) et sur un zoom spécifique en Région Poitou-Charentes (190 nœuds).

Mots-Clés

Accessibilité - Aménagement - Graphe - Réseau - Transport

Le logiciel NOD, élaboré ces trois dernières années au laboratoire du Centre d'Etudes Supérieures d'Aménagement, est un outil d'aide à la décision en aménagement qui permet d'étudier les répercussions spatio-temporelles de projets de modification de l'offre de transport. Il s'agit d'un outil de simulation informatisé qui a pour finalité de comparer et d'évaluer différents scénarios d'aménagement. Son champ d'application inclut :

- la création, l'amélioration, voire la suppression d'infrastructures : lignes et gares T.G.V., tronçons autoroutiers, tunnels ferroviaires, recalibrage de voies routières, etc. ;
- les modifications des caractéristiques fonctionnelles de l'offre de transport : réglementations (code de la route, législation sociale européenne dans les transports routiers de marchandises), renouvellement du parc ou de la flotte de véhicules, introduction de nouveaux moyens de transport, interventions sur les dessertes, fréquences et horaires des transports collectifs, tant urbains qu'interurbains, etc.

Outre ces aspects infrastructurels et fonctionnels, un nouveau module a été développé pour tester les critères d'accessibilité de la loi 95-115, d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire, et pour simuler différentes modifications de ces critères. En effet, il n'existe actuellement aucune carte permettant de localiser, sur le territoire national, les zones d'intervention publique nécessaire pour que les critères de la loi puissent être respectés en 2015.

Les orientations communes aux schémas sectoriels des infrastructures de transport stipulent qu'à l'horizon 2015, « aucune partie du territoire français métropolitain continental ne sera située à plus de cinquante kilomètres ou de quarante-cinq minutes d'automobile, soit d'une autoroute ou d'une route express à deux fois deux voies en continuité avec le réseau national, soit d'une gare desservie par le réseau ferroviaire à grande vitesse » (Art. 17.-I).

1. La France en graphe

Afin de couvrir l'ensemble du territoire national et de disposer de résultats suffisamment fins géographiquement, il est apparu nécessaire de faire reposer les calculs sur un nombre élevé de points. Les cartes présentées renvoient donc à des résultats nodaux. En effet, il nous a semblé préférable de retenir une méthode discrète de description de l'espace offrant des résultats certes ponctuels, mais nombreux et précis, plutôt que de tendre impérativement vers une description continue au moyen d'extrapolations. A ce propos, une seconde phase de recherche portant sur un nombre encore plus important de nœuds est actuellement en cours.

- Ainsi, le travail de recherche présenté ici a pour objet de caractériser chacun des nœuds retenus selon :
- le nombre et la nature des critères respectés (aucun critère, critère temporel et/ou kilométrique) ;
 - l'excédent ou le déficit d'accessibilité par rapport à chaque critère pris séparément ;
 - les fonctions assurées par le nœud majeur le plus proche des nœuds étudiés.

Par nœuds majeurs nous entendons les nœuds qui assurent les fonctions de gare desservie par le réseau ferroviaire à grande vitesse, d'échangeur autoroutier ou d'échangeur routier permettant l'accès à une voie express à 2 fois 2 voies s'inscrivant en continuité avec le réseau national.

Le choix des nœuds à digitaliser peut répondre à plusieurs critères d'importance variable selon le niveau d'organisation étudié. Ces critères peuvent se combiner entre eux et dépendent des objectifs que l'on se propose d'atteindre. Le critère population et le critère lié à l'existence de fonctions administratives ou à la présence d'industries de pointe jouent un rôle important pour l'élaboration de la trame urbaine.

Le rôle des nœuds dans le fonctionnement des systèmes de transport constitue un critère de choix tout aussi important que ceux précédemment énoncés, et ce, quelque soit le niveau d'organisation retenu. Ces nœuds stratégiques peuvent être, selon les niveaux, des villes, des gares, des stations de bus (de tramway, de métro), des carrefours routiers, des échangeurs autoroutiers, des ports, des aéroports, des croisements de rues, des lieux de convergence et de divergence de chemins piétonniers comme dans le métro de Paris, etc.

Au niveau interurbain, il convient de remarquer que si, pour des raisons historiques, économiques, topographiques, etc., la plupart des villes importantes en termes de population constituent des nœuds stratégiques, notamment routiers, il est souvent nécessaire de compléter, d'affiner cette trame initiale par des nœuds jouant un rôle strictement fonctionnel.

2. Graphe des réseaux routier et ferroviaire français

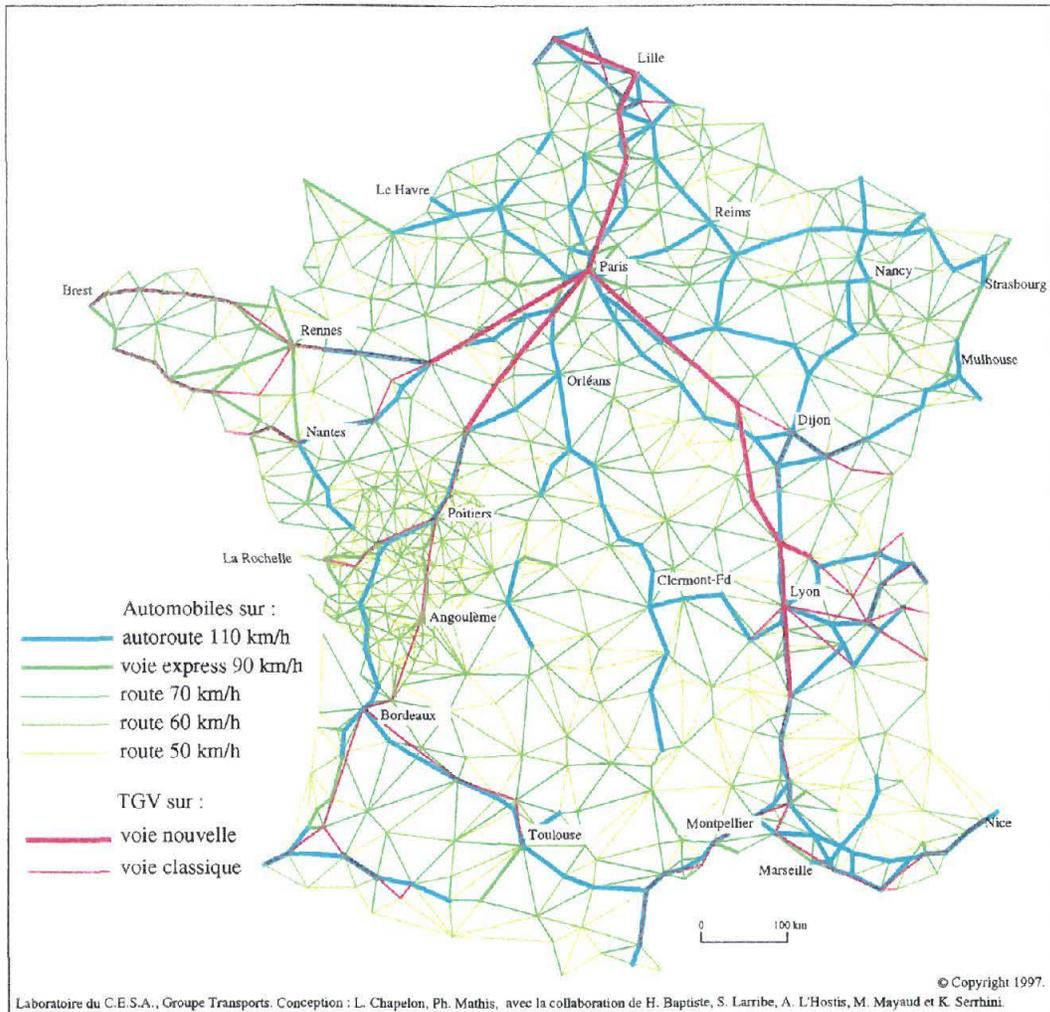
Le logiciel NOD repose sur la modélisation des réseaux de transport à l'aide de graphes valués. Pour l'application présentée ici, quatre réseaux interviennent : le réseau routier, le réseau autoroutier, le réseau ferroviaire classique emprunté par des TGV et le réseau ferroviaire à grande vitesse.

En ce qui concerne le réseau routier, il est composé d'infrastructures qui ne possèdent pas toutes les mêmes caractéristiques techniques (nombre et largeur des voies, sinuosité, séparateur central de chaussées, aménagement des côtés, etc.). De ce fait, on ne circule pas à la même vitesse sur l'ensemble du réseau. La prise en

compte de cette évidence nous a conduit à regrouper les infrastructures par grands types, en fonction de leurs caractéristiques techniques. Chaque type renvoie à un réseau partiel infrastructurel spécifique.

Le réseau routier est donc issu de la juxtaposition de plusieurs réseaux partiels infrastructurels ; en l'occurrence quatre dans notre application (fig. 1). S'ajoute ensuite le réseau autoroutier, dont la dissociation en plusieurs réseaux partiels infrastructurels ne nous est pas apparue primordiale compte tenu de la relative homogénéité technique des infrastructures autoroutières.

Figure 1 : Graphe des réseaux routier et ferroviaire français (518 nœuds - 1769 arcs) et zoom sur les réseaux en Poitou-Charentes (190 nœuds - 568 arcs)



La figure 1 montre, en outre, une plus grande densité des réseaux en région Poitou-Charentes. Il s'agit par là d'illustrer le processus de zoom intégré au logiciel NOD. Ce processus permet de décrire plus finement telle ou telle partie de l'espace de référence par simple "clic" de la part de l'opérateur. L'application du zoom à la région Poitou-Charentes est ainsi susceptible de préciser, localement, les résultats obtenus à un niveau d'organisation supérieur, à savoir le niveau national.

L'affectation des infrastructures routières à tel ou tel réseau partiel infrastructurel a été réalisée à partir des cartes Michelin au 1/200 000, lesquelles fournissent des informations précises quant à la nature et aux caractéristiques techniques des voies. Ces cartes ont également fourni une entrée fondamentale du modèle, à savoir la longueur kilométrique des liaisons routières et autoroutières associées aux différents arcs du graphe.

En ce qui concerne le calcul des temps de parcours sur chacun des arcs, il convient de raisonner en termes de binômes fonctionnels. Nous définirons un binôme fonctionnel par l'association d'un véhicule et d'un réseau partiel infrastructurel. A chaque binôme, une vitesse moyenne de circulation pourra ainsi être affectée, à savoir 110 km/h sur autoroute, 90 km/h sur voie express à 2 fois 2 voies, 70, 60 ou 50 km/h selon les caractéristiques techniques des autres infrastructures routières. Ces vitesses ont été déterminées à partir des résultats de stations de comptage et de relevés de terrain.

Connaissant la longueur kilométrique associée à chaque arc, le calcul des temps de parcours routiers et autoroutiers s'opère ainsi aisément, en lui appliquant la vitesse moyenne du binôme fonctionnel correspondant à l'arc. Afin de confirmer la valeur des vitesses moyennes retenues, les résultats ainsi obtenus ont ensuite été recoupés avec une série de temps de parcours fournis par les serveurs Minitel spécialisés (Iti, km, etc.).

Pour les arcs ferroviaires, il n'est pas nécessaire de connaître le temps de parcours, ni même la longueur kilométrique des liaisons, car selon la formulation de la loi, les accessibilités calculées ici sont des accessibilités en automobile. Seule importe de connaître la localisation des gares « desservies par le réseau ferroviaire à grande vitesse ».

Se pose cependant la question du choix des gares à retenir. En effet, peut-on, par exemple, considérer Ruffec comme une "gare TGV" alors qu'elle n'est desservie que le vendredi soir (20 h 58 dans le sens Paris-Bordeaux) et le dimanche soir (20 h 51 dans le sens Bordeaux-Paris) ? Si l'on répond par la négative, se pose immédiatement le problème du choix des critères de sélection (1, 2, 5, 10 trains par jour ou par semaine ?). C'est pourquoi nous avons opté pour une interprétation la plus large possible des termes de la loi, en considérant comme gare TGV, toute gare dans laquelle s'arrête un TGV. L'interprétation des résultats devra, de ce fait, tenir compte de ce choix.

3. Calcul et représentation des accessibilités

Une fois le graphe multimodal élaboré, la première procédure a pour objet de caractériser chaque sommet selon qu'il est ou non un nœud majeur, c'est-à-dire un nœud desservi par au moins l'un des réseaux rapides retenus, routier (voies express), autoroutier ou ferroviaire. Ensuite, intervient le calcul des plus courts chemins en kilomètres puis en minutes, puisque les critères mentionnés dans la loi renvoient aux deux valuations. Pour ce faire, nous utiliserons l'algorithme de Floyd dont une adaptation a dû être entreprise de manière à intégrer deux contraintes supplémentaires inhérentes à la formulation de la loi : premièrement, il convient de ne calculer les chemins qu'à partir des nœuds qui ne sont pas des nœuds majeurs puisque ces derniers respectent forcément les critères d'accessibilité. Deuxièmement, pour chaque nœud non majeur, les chemins ne doivent être calculés qu'à destination des nœuds majeurs afin de déterminer le plus proche.

En d'autres termes, cela revient à ne retenir, pour chaque nœud non majeur, que la longueur du plus court des plus courts chemins, c'est-à-dire la longueur du chemin à destination du nœud majeur le plus proche.

La longueur de ce chemin en kilomètres et en minutes sera ensuite comparée respectivement aux 50 kilomètres et aux 45 minutes de la loi, ce qui nous permet d'élaborer des cartes d'accessibilité qui mettent en évidence les "zones" de non respect des critères (fig. 2). Ces cartes sont élaborées de la manière suivante :

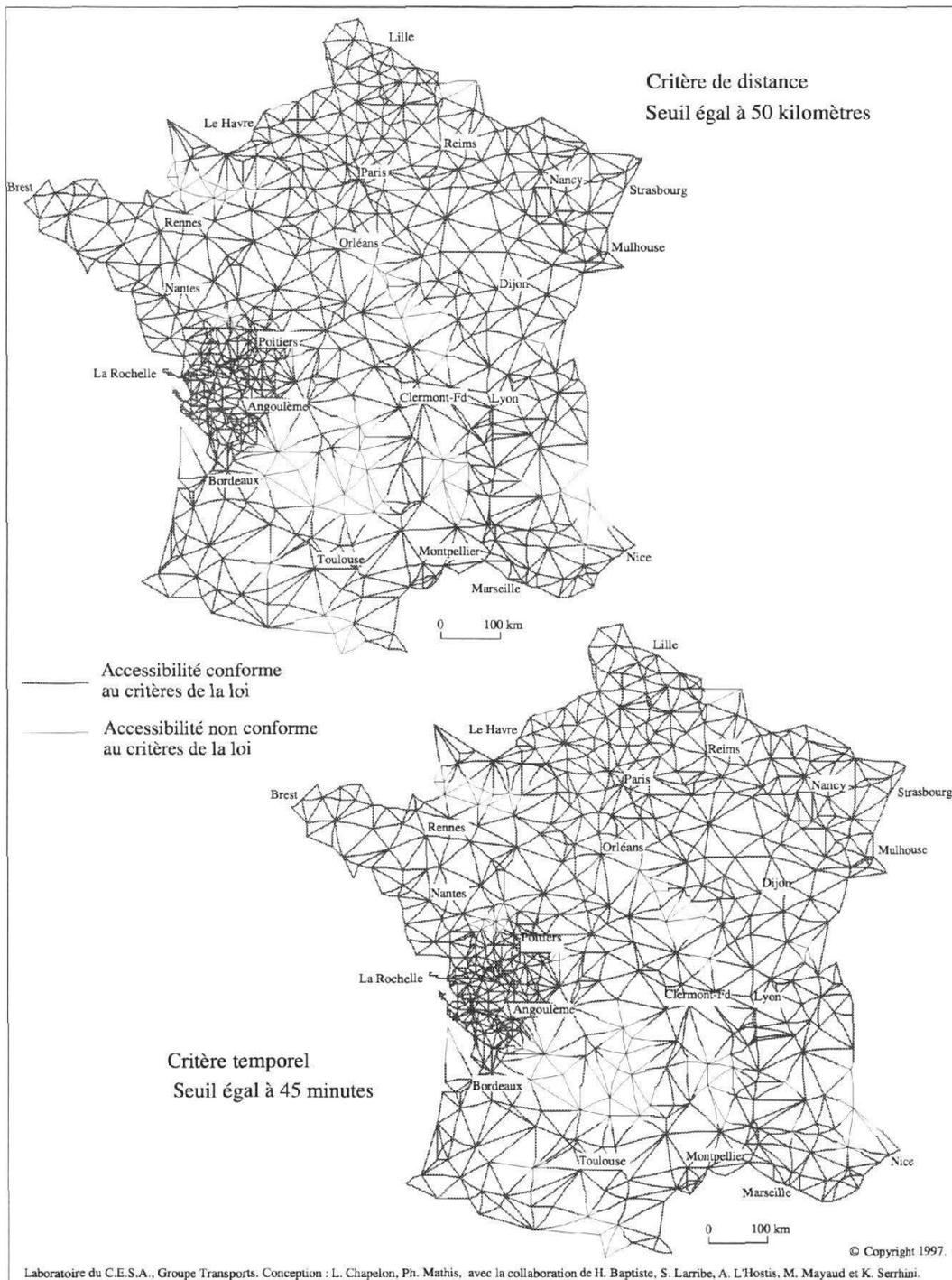
Aux nœuds non majeurs est affectée la valeur du plus court chemin à destination du nœud majeur le plus proche. Aux nœuds majeurs est associée la valeur zéro. On retient ensuite deux classes :

- une pour les valeurs inférieures ou égales à 50 kilomètres ou 45 minutes,
- une pour les valeurs strictement supérieures à 50 kilomètres ou 45 minutes, c'est-à-dire pour les valeurs ne respectant pas les critères.

Enfin, pour chacun des arcs, si les valeurs des sommets situés à chaque extrémité font partie de la même classe, l'arc est peint entièrement avec la couleur associée à la classe. Si ce n'est pas le cas, la couleur de chacune des deux classes est reportée sur l'arc au prorata de la valeur des deux extrémités.

Ce principe permet une représentation linéaire sans "tomber" dans l'inexactitude d'une représentation surfacique de type isochrones ; celle-ci reposant sur des extrapolations qui n'ont pas lieu d'être ici, puisque, si nécessaire, l'obtention d'une information plus complète peut être obtenue aisément par l'accroissement du nombre de sommets, au sein même des mailles, à l'aide du processus de zoom.

Figure 2 : Critères d'accessibilité aux infrastructures de transport rapide définis par la loi 95-115



Ces cartes montrent que les résultats sont sensiblement identiques pour les deux critères, kilométrique et temporel. Les zones de non respect obtenues correspondent aux zones d'intervention publique nécessaire pour que les critères puissent être respectés en 2015. Les zones défavorisées touchent principalement : la Basse Normandie, le Maine-et-Loire, la Nièvre, la Corrèze, le Lot, la Dordogne, le Cantal, l'Aveyron, l'Ariège, les Pyrénées orientales, les Alpes du Sud, l'Ardèche et la Haute-Loire.

On peut observer leur relative dispersion sur l'ensemble du territoire national, ce qui suppose un éparpillement important des investissements à réaliser. Les nœuds localisés au Nord d'une ligne Le Havre-Dijon sont peu concernés. Les principaux déficits d'accessibilité se localisent au Sud de cette ligne et notamment dans le Massif central.

4. Analyse nodale des critères d'accessibilité

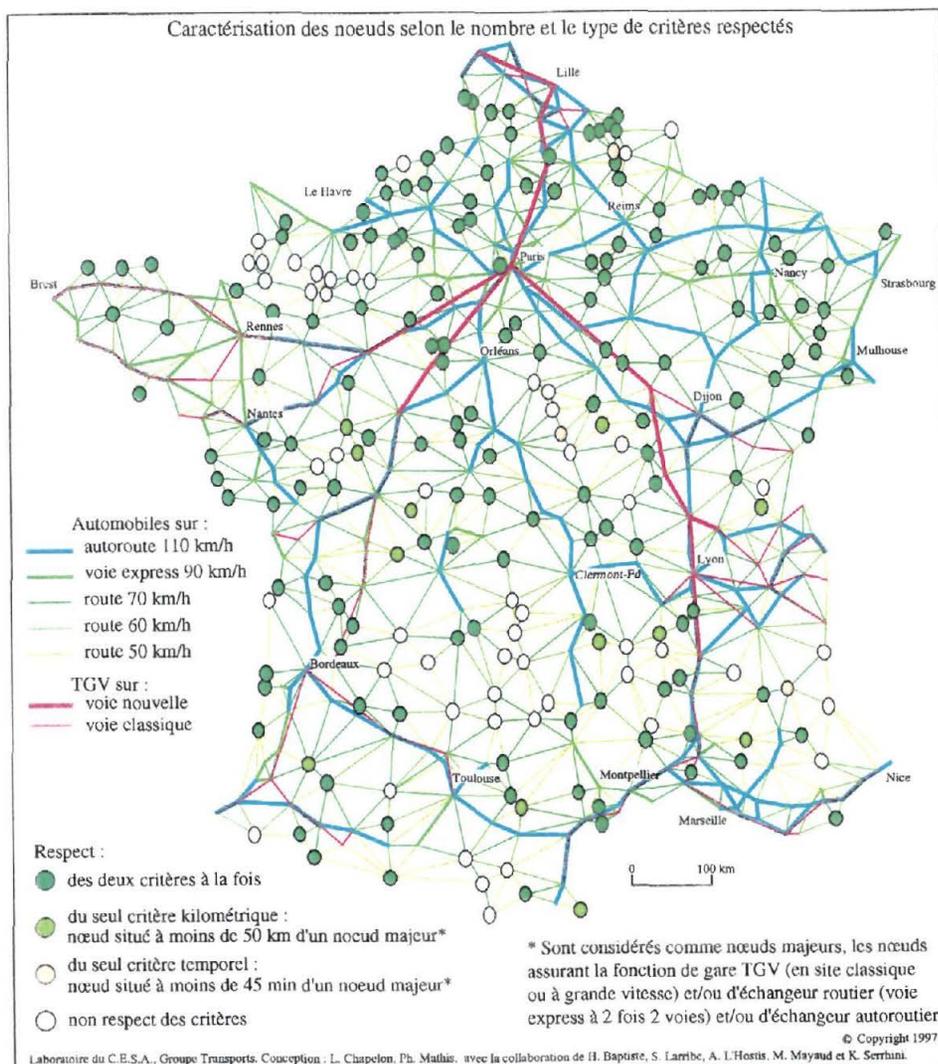
L'analyse nodale des critères repose sur la recherche de deux grands types d'information de sorte que les cartes qui en résultent concernent soit les deux critères à la fois, soit chaque critère individuellement.

Dans le premier cas, il convient de procéder par soustraction entre les valeurs nodales des plus courts chemins à destination du nœud majeur le plus proche et le critère des 50 kilomètres ou des 45 minutes. Si la différence est positive, le nœud ne respecte pas le critère étudié et si la différence est négative ou nulle, le nœud respecte le critère en question. On obtient ainsi deux séries de résultats, une pour le critère kilométrique et une pour le critère temporel. Ces deux séries ont été synthétisées sur la figure 3, laquelle opère une distinction entre les nœuds :

- respectant les deux critères à la fois,
- ne respectant aucun des deux critères,
- ne respectant que le seul critère kilométrique,
- ne respectant que le seul critère temporel.

La carte montre que la plupart des nœuds qui répondent aux critères respectent les deux critères à la fois. Les seules exceptions concernent Gap, la Charité/Loire et la Capelle qui ne respectent que le critère temps et Argelès, Mont-de-Marsan, Mazamet, Sault, Langeac, Montfaucon-en-Velay, St-Claude, Confolens, Lussac-les-Châteaux, Saumur, Loudun et Corbigny qui ne respectent que le critère kilométrique.

Figure 3 : Accessibilité des villes aux infrastructures de transport rapide : caractérisation des nœuds majeurs



Le second type d'information que l'on peut extraire de l'analyse nodale renvoie, quant à lui, à une étude individuelle de chacun des critères. Les cartes produites ici sont donc propres à l'un ou l'autre de ces critères. Elles constituent le prolongement du travail effectué pour élaborer la carte précédente et sont donc complémentaires. En effet, la comparaison, par soustraction, entre les valeurs nodales des plus courts chemins à destination du nœud majeur le plus proche et les critères de la loi, permet de déterminer l'excédent ou le déficit d'accessibilité de ces nœuds non majeurs par rapport à chacun des critères. En d'autres termes, cela permet de savoir "de combien" le critère en question est respecté par le nœud étudié ou "de combien" il ne l'est pas (fig. 4).

Il s'agit, sous une autre forme, de la même information que celle contenue dans la figure 3. Cependant, une contrainte supplémentaire a été intégrée à l'algorithme de Floyd ; celle de conserver en mémoire la (ou les) fonction(s) du nœud majeur le plus proche de chaque nœud non majeur considéré. Ainsi, la différenciation des nœuds sur les cartes tient compte de cette information supplémentaire.

Figure 4 : Accessibilité des villes aux infrastructures de transport rapide : caractérisation des nœuds secondaires

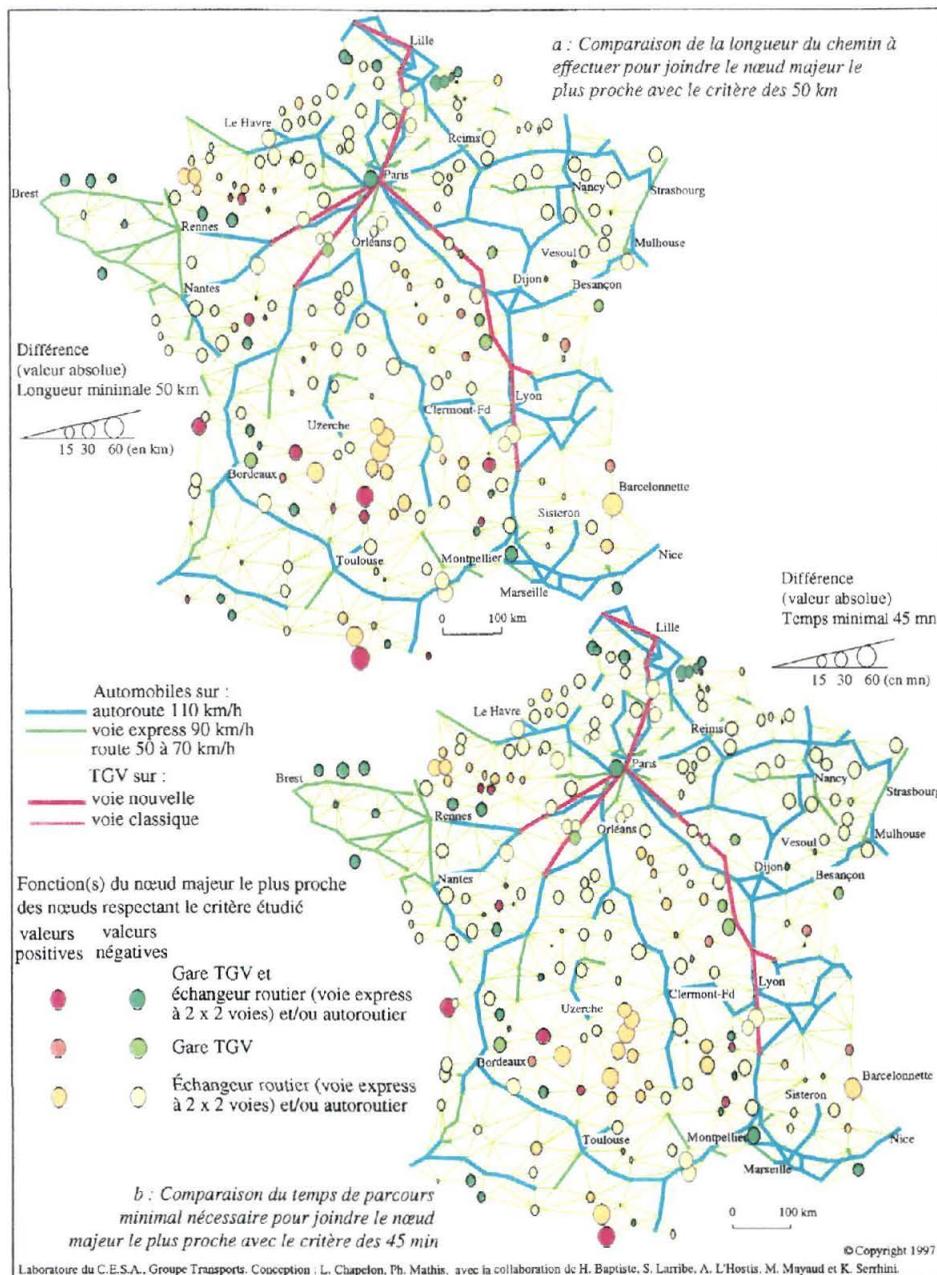
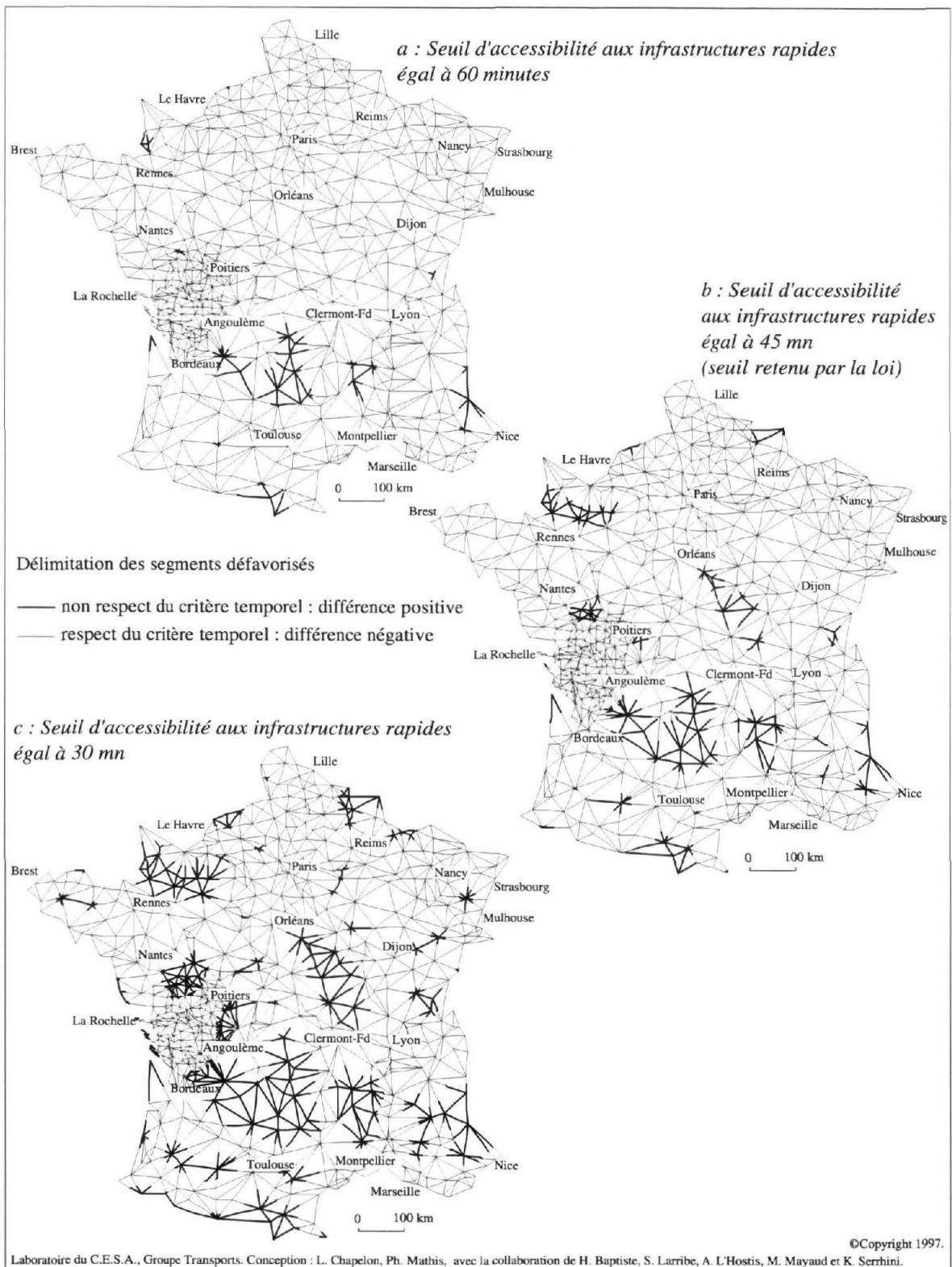


Figure 5 : Modification du critère temporel d'accessibilité aux infrastructures rapides



Afin d'illustrer nos propos, nous retiendrons deux exemples, Barcelonnette et Vesoul.

Dans le cas de Barcelonnette, les critères ne sont pas respectés, et ce, de beaucoup : 70 kilomètres et 60 minutes respectivement. De plus, le nœud majeur le plus proche est un échangeur autoroutier (Sisteron). La description arc par arc des chemins minimaux (édition des profils en long) possible par l'algorithme de Floyd nous a permis cette identification.

Quant à l'exemple de Vesoul, on observe qu'il y a respect des critères, mais de fort peu, puisque la différence absolue n'excède pas 5 kilomètres ou 5 minutes. Dans le cadre bien précis de cette application, le nœud majeur de rabattement de Vesoul est Besançon. En effet, la couleur du disque de Vesoul signifie que le nœud majeur le plus proche assure les fonctions de gare TGV et d'échangeur routier (voie express à 2 fois 2 voies) et/ou autoroutier. Ce ne peut être ni Belfort, ni Montbéliard, qui ne sont pas desservis par le TGV. Il ne reste plus, dès lors, que Besançon qui cumule les fonctions d'échangeur autoroutier et de gare TGV. Ici aussi, confirmation en est donnée par le profil en long.

L'analyse des nœuds vient confirmer le déficit d'accessibilité mis en évidence par l'analyse des graphes pour le Massif central, les Alpes-Maritimes et l'Ariège qui accusent les différences les plus grandes par rapport aux critères de la loi.

La même analyse nodale des critères peut être effectuée par une procédure de zoom sur les espaces régionaux. Elle permet d'approcher la localisation des "limites de rabattement" pour chacun des nœuds majeurs selon les deux critères considérés (kilométrique et temporel).

5. Modification du critère temporel et répercussions spatiales

Une fois ce travail analytique entrepris et les procédures programmées dans NOD, il est particulièrement aisé de réaliser des simulations portant sur la modification des critères de la loi. Ces simulations peuvent notamment permettre de répondre à des questions du type : quelles auraient été les zones d'intervention publique nécessaire si la loi avait admis un seuil kilométrique ou temporel d'accessibilité aux infrastructures rapides plus faible ou plus important que celui retenu ?

Deux simulations ont été effectuées. La première (fig. 5a), relative à l'accroissement du seuil temporel à 60 minutes, permet d'observer la réduction des zones d'intervention par rapport au critère de la loi (fig. 7b) alors que la seconde (fig. 7c), relative à l'abaissement du seuil à 30 minutes, montre un accroissement notable de ces zones.

Dans le premier cas, la réduction touche principalement la Basse Normandie, le Maine-et-Loire, la Nièvre et la région d'Auch alors que dans le second cas, l'accroissement concerne plus particulièrement le littoral atlantique, la frontière espagnole, la diagonale Angoulême-Barcelonnette, la zone comprise entre Orléans et Lyon, etc.

Au regard des résultats portés sur la figure 5c et des investissements qu'ils occasionneraient, on comprend mieux pourquoi le critère des 30 minutes n'a pas été retenu en France. Il est à noter que ce critère est pratiquement atteint dans la plupart des Länder allemands.

Le principe de modélisation pour lequel nous avons opté s'est avéré particulièrement bien adapté à la question de la modélisation des critères d'accessibilité de la loi 95-115. En effet, la description des réseaux sous forme de réseaux partiels infrastructurels nous a permis de connaître automatiquement les fonctions assurées par chacun des nœuds et notamment celles spécifiées par la loi : gare TGV, échangeur routier (voie express à 2 fois 2 voies) et échangeur autoroutier. Il conviendrait cependant de coupler ce travail avec les indicateurs faisant appel aux bases de données horaires de façon à retenir plusieurs seuils de fréquence des trains pour le choix des gares TGV. On pourrait ainsi observer la variation des zones de non respect des critères suivant le nombre et la localisation des gares retenues, puisque la loi ne précise rien à ce sujet.

En outre, la loi 95-115 offrait un champ d'application intéressant, en rapport direct avec les préoccupations actuelles en matière d'aménagement du territoire. Mais nous tenons à mentionner l'adaptabilité permise de l'outil à d'autres problèmes de portée nationale ou européenne comme l'évaluation des schémas directeurs d'infrastructures. A ce sujet, une étude est actuellement en cours au laboratoire du CESA pour simuler les conséquences du schéma directeur routier national et du schéma directeur ferroviaire à grande vitesse, sur les zones de non respect des critères, l'objectif étant d'observer quelles zones subsisteront une fois réalisés les investissements programmés. Ceci nous permettra de proposer d'éventuels compléments aux schémas directeurs en question.

Bibliographie

- [1] AURAY J.P., MATHIS P., 1994 : « Analyse spatiale et théorie des graphes », in *Encyclopédie d'Economie spatiale : concepts, comportements, organisations*, ss la dir de J.P. Auray, A. Bailly, P.H. Derycke, J.M. Huriot, Paris, Economica, pp. 81-91
- [2] BERGE C., 1983 : *Graphes*, Paris, Gauthier-Villars, 3e éd.
- [3] CHAPELON L., 1996 : « Modélisation multi-échelles des réseaux de transport : vers une plus grande précision des accessibilités temporelles », *Mappemonde*, n° 3
- [4] CHAPELON L., 1997 : *Offre de transport et aménagement du territoire : évaluation spatio-temporelle des projets de modification de l'offre par modélisation multi-échelles des systèmes de transport*, Thèse de doctorat, Aménagement, Tours, Laboratoire du CESA, 558 pages
- [5] CHAPELON L., L'HOSTIS A., MATHIS P., 1995 : *Modélisation nodale du transport de personnes : fondements théoriques et imagerie*, Communication au colloque « Grandes infrastructures de transport et territoires », Lille, INRETS-TRACES, 8-9 juin 1995
- [6] CHAPELON L., L'HOSTIS A., MATHIS P., 1996 : *Transport et espace : l'interaction des échelles spatiales et temporelles*, Communication aux journées du PIREVS, « Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement », Paris, CNRS, 15-17 janvier 1996
- [7] DUPUY G., 1985 : *Systèmes, réseaux et territoires : principes de réseautique territoriale*, Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
- [8] MINOUX M., BARTNIK G., 1986 : *Graphes, algorithmes, logiciels*, Paris, Dunod, 428 pages
- [9] *Loi n° 95-115 du 4 février 1995 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire*, Paris, Journal officiel de la République Française, 5 février 1995