

Université Paul Valéry – Montpellier III

UMR 5651 ESPACE

Aix-Marseille I - Avignon - Montpellier III - Nice

— *GEMS* —

Groupe d'Étude des Mutations Spatiales

ACCESSIBILITE ROUTIERE ET PERIPHERICITE DES VILLES ATLANTIQUES

Évaluation diachronique 1998-2005 du réseau routier français

Laurent CHAPELON

Groupe d'Étude des Mutations Spatiales – Maison de la Géographie

17 rue de l'Abbé de l'Épée – 34000 Montpellier

Tél. : 04 67 14 58 33 / Fax : 04 67 72 64 04 / E-mail : chapelon@mgm.fr

Si, en France, il est un point commun entre les différents réseaux de transport terrestres qui desservent le territoire, c'est indiscutablement leur structure centrée sur Paris. Le développement récent du réseau ferroviaire à grande vitesse¹ tend à reproduire la fameuse « Étoile de Legrand » de 1842 qui fut à l'origine de la structure du réseau ferroviaire classique que l'on connaît aujourd'hui. Un rapprochement similaire peut également être opéré entre le réseau autoroutier actuel, fortement centralisé, et son homologue routier du XVIII^{ème} siècle. En effet, c'est à la Direction générale des ponts et chaussées, créée en 1715, que l'on doit les plans d'un réseau routier centré sur Paris, siège du pouvoir central.

Mais contrairement à la situation actuelle du chemin de fer et de l'autoroute, le développement rapide du maillage routier a fait progressivement disparaître les contraintes inhérentes à cette structure réticulaire bien particulière.

Sans parler du réseau ferroviaire classique, en régression depuis l'entre-deux-guerres², il semble difficile de croire que le rythme d'extension de la grande vitesse ferroviaire et de l'autoroute puisse rapidement remettre en cause l'organisation centralisée des transports rapides français.

Et ce, d'autant plus que l'on semble se contenter, pour des raisons économiques, de solutions peu satisfaisantes, comme l'interconnexion TGV en Ile-de-France qui ne résout en rien la question de l'utilisation optimale des potentialités offertes par un système de transport aussi performant que le TGV... En effet, pour des trajets de province à province, les détours systématiques imposés par la structure faiblement maillée du réseau entraînent une décroissance des gains de temps potentiels susceptibles d'être procurés par le TGV ; décroissance proportionnelle à l'éloignement de Paris.

C'est donc avec ce particularisme national qu'il va falloir composer pour appréhender les caractéristiques de l'accessibilité routière des **villes de l'Ouest français**, objet du présent chapitre.

C'est aussi à cause de ce particularisme que cette appréhension ne peut être pleinement satisfaisante qu'en se basant sur des **comparaisons** avec la situation des villes des autres régions françaises et notamment celles des autres régions géographiquement périphériques. Comparaisons qui impliquent de **raisonner à l'échelle nationale** pour pouvoir dégager l'influence respective de la **localisation géographique** des villes, de la **structure** et de la **performance du réseau routier**³ dans les **niveaux d'accessibilité** observés.

L'enjeu est ici clairement de **rapprocher périphéricité et accessibilité** sachant que l'accessibilité est certainement **une des causes** de la périphéricité des villes de la façade atlantique⁴, mais qu'elle est également la **conséquence** de leur localisation périphérique.

C'est en **isolant et en combinant les facteurs géographique et réticulaire** (structure et performance) que pourra être mieux cernée la relation entre accessibilité routière et périphéricité. En effet, un nœud excentré peut avoir une accessibilité comparable à celle d'un nœud géographiquement plus central, mais mal desservi, dès lors qu'il est connecté à un réseau de transport performant. Ainsi, l'un des objectifs de ce travail est d'étudier la capacité du réseau routier à compenser, partiellement tout du

¹ Les deux premières sections furent mises en service en 1981 et 1983 sur 400 km entre Paris et Lyon.

² La plus grande phase de contraction date des années 1938-40.

³ Ici, la dénomination «réseau routier» regroupe les routes et les autoroutes. Il en sera toujours de même par la suite.

⁴ La dénomination «façade atlantique» utilisée par la suite ne renvoie volontairement pas à une délimitation spécifique, mais se veut au contraire la plus large possible. Les accessibilités calculées étant des accessibilités nodales, cartographiées à l'échelle nationale, il n'y avait aucune raison particulière pour fixer un cadre rigide, nécessairement restrictif et imprécis, à l'interprétation des résultats. Aucune limite ne sera donc portée sur les cartes présentées ci-dessous.

moins, le déficit d'accessibilité engendré par la localisation géographique périphérique des villes de la façade atlantique.

Ce n'est qu'une fois les résultats de cette phase d'analyse en notre possession que l'on sera en mesure d'intégrer une **visée prospective** à notre travail. En effet, le réseau routier étant continuellement en chantier, notamment en ce qui concerne les infrastructures les plus rapides, il apparaît important d'appréhender comment, dans les prochaines années, va évoluer l'accessibilité, et de manière induite la périphéricité, de chacune des villes de la façade atlantique.

Les outils de modélisation du réseau routier et de calcul des indicateurs d'accessibilité ayant été spécifiquement développés pour permettre l'évaluation de projets de modification de l'offre de transport, il a été possible de simuler la construction des infrastructures prévues au schéma directeur routier national et non encore réalisées au 31 décembre 1998. Simulation qui fournit un état du réseau routier à l'**horizon 2005**.

L'application aux réseaux de transport des propriétés de la Théorie des graphes et des algorithmes de la Recherche Opérationnelle qui lui sont associés s'est avérée particulièrement utile pour la conception de ce type d'outil d'aide à la décision en Aménagement. Les principes de modélisation du réseau routier, de calcul et de représentation des indicateurs d'accessibilité adoptés ici ainsi que les logiciels utilisés, sont décrits dans la fiche de synthèse ci-jointe⁵.

⁵ Pour de plus amples précisions voir L. CHAPELON. Offre de transport et Aménagement du territoire. Thèse de doctorat : Tours : 1993.

PRINCIPES DE MODELISATION, DE CALCUL ET DE REPRESENTATION ADOPTES

1. DESCRIPTION DU RESEAU ROUTIER SOUS FORME DE GRAPHS VALUES

Le choix des sommets du graphe est guidé non seulement par l'importance des villes en termes de population et de fonctions administratives, mais également par le rôle stratégique que certains nœuds peuvent jouer dans l'organisation et le fonctionnement du réseau routier.

A chaque arc du graphe sont associées :

- la longueur en kilomètres de la liaison qu'il représente,
- et la durée nécessaire pour parcourir cette liaison en automobile.

La durée est calculée automatiquement en multipliant la longueur par une vitesse moyenne de déplacement, elle même fonction des caractéristiques techniques du véhicule utilisé et des infrastructures empruntées. A savoir, pour ces dernières :

- nombre et largeur des voies
- existence d'un séparateur central de chaussées
- traversée éventuelle d'agglomérations
- sinuosité du tracé
- aménagement des côtés
- pente...

Cinq classes de vitesses ont été retenues pour le calcul des durées de parcours en automobile :

- 110 km/h sur autoroute,
- 90 km/h sur les voies express à 2 fois 2 voies,
- 70, 60 ou 50 km/h sur les autres routes selon leurs caractéristiques techniques.

L'affectation des infrastructures à telle ou telle classe est réalisée par l'opérateur à partir des informations techniques fournies notamment par les cartes routières et par les services de l'équipement. Les vitesses ont été calées à l'aide d'un ensemble de mesures ponctuelles puis vérifiées par comparaison avec les résultats issus de bases de données consultables sur Minitel.

Le graphe routier utilisé par la suite comporte 522 sommets et 1700 arcs non orientés (carte 1). Il correspond à l'état du réseau au 31 décembre 1998. La digitalisation des sommets et des arcs du graphe ainsi que la saisie des données (longueur et classe de vitesse) est effectuée, à l'écran, à l'aide du logiciel MAP^o (L'HOSTIS, MATHIS 1993/98).

1. DESCRIPTION DU GRAPHE EN MACHINE

Conjointement à son élaboration, le graphe est décrit en machine sous forme alphanumérique à l'aide de deux types de fichiers :

- Le fichier des sommets qui regroupe le nom, le code et les coordonnées géographiques du nœud qu'il représente,
- Le fichier des arcs qui regroupe le code du sommet d'origine, le code du sommet de destination, le code de la classe de vitesse retenue, la longueur et la durée de la liaison.

1. CALCUL DES INDICATEURS D'ACCESSIBILITE

Les indicateurs d'accessibilité sont calculés par le logiciel NOD^o (CHAPELON, MATHIS 1993/98). Le calcul des plus courts chemins nécessaire à l'obtention de la plupart des indicateurs d'accessibilité utilisés par la suite fait appel à l'algorithme de Floyd.

Les résultats obtenus ici sont des résultats nodaux et se rapportent à des trajets effectués au départ de chaque nœud et à destination de tous les autres nœuds du réseau. De ce fait, pour ne pas fausser les résultats, il était important de conserver une certaine homogénéité dans la répartition des sommets lors de la conception du graphe.

1. PRODUCTION DES RESULTATS CARTOGRAPHIQUES

Les cartes sont réalisées par le logiciel MAP^o qui accepte en entrée le format des fichiers de résultats produits par NOD^o. Précisons que pour faciliter la comparaison des résultats toutes les cartes présentées

III. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET PERIPHERICITE

Avant d'introduire toute considération relative au réseau routier, il convient de se donner une image précise des **disparités spatiales** engendrées par la seule **position géométrique** des villes les unes par rapport aux autres. En effet, dès lors que les villes sont géographiquement localisées dans un espace et dans un système de référence donnés, se pose la question de **l'évaluation du caractère plus ou moins central** (ou périphérique) de **cette localisation** comparativement à la localisation de tout ou partie des autres villes.

D'un point de vue géométrique, dans un plan euclidien, cette évaluation peut être opérée, pour chaque ville, par **sommation des longueurs euclidiennes** la séparant des autres villes :

$$l_e(i) = \sum_{j=1}^n l_e(i, j)$$

Où : i est l'indice de la ville d'origine

j est l'indice de la ville de destination

$l_e(i, j)$ est la **longueur euclidienne** séparant i et j

$l_e(i)$ est la **somme des longueurs euclidiennes** séparant i de chacune des autres villes

Les longueurs euclidiennes sont calculées à l'aide de la formule issue du théorème de Pythagore appliquée aux coordonnées géographiques des villes :

$$l_e(i, j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Où : x_i et y_i sont les coordonnées géographiques de la ville d'origine

x_j et y_j sont les coordonnées géographiques de la ville de destination

Ainsi, la carte 2 représente la somme des trajets «à vol d'oiseau» entre chaque ville et toutes les autres.

La **structure circulaire de l'accessibilité** qui en découle est représentée sous la forme de classes de valeurs même amplitude afin d'améliorer la **perception de la situation plus ou moins périphérique** des villes. La **structure est centrée sur Bourges**, ville possédant la valeur la plus faible (159 045 km), et **s'étend jusqu'à Brest** qui présente la valeur la plus élevée avec 312 128 km. Le rapport entre le centre (Bourges) et la périphérie (Brest) est ici de **1,96**.

On constate que si les villes de la façade atlantique occupent globalement une **position géométrique périphérique** dans l'espace étudié, cette situation défavorable n'est pas plus marquée que celle des villes pyrénéennes et méditerranéennes ou que celle des villes proches des frontières belge, luxembourgeoise, allemande, suisse ou italienne. Ceci permettra par la suite d'opérer des comparaisons entre périphéries afin de mieux appréhender le rôle respectif de la **structure** et de la **performance** du réseau routier sur l'accessibilité des villes de la façade atlantique.

Villes qui ne présentent cependant pas toutes le même niveau de «périphéricité géographique» puisqu'entre Brest, Bayonne, Quimper, Morlaix ou Hendaye et Poitiers, Ruffec ou Parthenay il y a un écart de quatre classes.

IV. STRUCTURE DU RESEAU ROUTIER ET PERIPHERICITE

Si le positionnement géométrique relatif des villes constitue un élément explicatif majeur de la composante accessibilité de la périphéricité, il n'est cependant pas le seul dès lors que l'on s'intéresse aux réseaux et à leur fonctionnement. En effet, on peut se demander si la **morphologie**, l'**agencement** et la **performance des infrastructures** routières de la façade atlantique sont susceptibles de «compenser», au moins partiellement, le **déficit d'accessibilité** engendré par la seule localisation géographique des villes ?

Dans l'affirmative, il conviendra de **quantifier géographiquement le niveau de cette compensation** et dans la négative il s'agira de répondre à la question : **y a-t-il sous équipement de la façade atlantique** en infrastructures routières rapides comparativement à ce que l'on observe dans les autres régions périphériques ?

Étudier le rôle de la **morphologie** et de l'**agencement** des infrastructures dans une éventuelle **réduction du déficit d'accessibilité** des villes des régions géographiquement périphériques revient à s'intéresser à la **structure** du réseau emprunté.

Pour ce faire, la **somme des longueurs kilométriques minimales de déplacement sur le réseau** entre chaque ville et toutes les autres constitue l'un des indicateurs synthétiques les plus appropriés :

$$l_r(i) = \sum_{j=1}^n l_r(i, j)$$

Où : i est l'indice de la ville d'origine

j est l'indice de la ville de destination

$l_r(i, j)$ est la **longueur du chemin kilométrique minimal** sur le réseau entre i et j

$l_r(i)$ est la **somme des longueurs kilométriques minimales de déplacement** sur le réseau entre i et chacune des autres villes

Les résultats issus de cet indicateur (carte 3) tiennent non seulement compte de la **localisation géographique** des villes, mais également :

- de la **morphologie des infrastructures** au travers de la **sinuosité** incluse dans les longueurs kilométriques des arcs,
- et de l'**agencement relatif des voies**, c'est à dire de la **configuration** du réseau, par l'intermédiaire des **détours** liés aux **enchaînements d'arcs** empruntés par les chemins minimaux.

Les résultats **présentés carte 3 ne remettent pas fondamentalement en cause** la structure circulaire de l'**accessibilité** observée sur la carte 2. La forte densité du maillage routier explique cet état de fait général. Les villes de la façade atlantique occupent toujours, à des degrés divers, une situation globalement périphérique. Cependant, si la position centrale ne varie que faiblement (Vierzon 188 325 km devant Bourges 188 461 km) la ville la plus périphérique est ici Menton (402 246 km). La pointe Bretagne ayant, quant à elle, une situation comparativement plus favorable (Brest 374 414 km).

Le rapport entre le centre (Vierzon) et la périphérie (Menton) est en augmentation (2,14 contre 1,96 précédemment). Ceci signifie qu'avec l'indicateur retenu ici, la **structure du réseau routier actuelle tend à accroître les disparités entre les villes les plus accessibles et les villes les moins accessibles** comparativement à leur localisation géographique respective.

Il apparaît, en outre, que **les villes du Nord-Est de la France semblent bénéficier d'une structure réticulaire plus favorable que celles des autres périphéries**. Cette observation est confirmée par la carte 4 obtenue par **différence absolue entre les résultats nodaux des deux cartes précédentes** ; ce qui revient à comparer les trajets sur le réseau et les trajets virtuels à vol d'oiseau :

$$C_4(i) = l_r(i) - l_e(i)$$

En effet, il ressort que les villes de la moitié Nord de la France sont nettement plus favorisées par la structure du réseau routier que leurs homologues Sud. Les résultats de la carte 4 montrent clairement que les chemins kilométriques minimaux au départ (ou à destination) des premières sont globalement plus proches d'une situation idéale à «vol d'oiseau» que ceux effectués au départ (ou à destination) des secondes. Le **poids des contraintes topographiques** constitue une part importante de l'explication de cette dichotomie. L'autre part étant due à des considérations d'ordre politique, économique, social, culturel. Considérations qui ont, à un moment ou à un autre de l'Histoire, influencées le développement et donc la structure du réseau routier que l'on connaît actuellement⁶.

Les villes de la façade atlantique n'échappent pas à cette dichotomie, exception faite de la situation géographique particulière des villes de la pointe Bretagne et de Soulac-sur-mer pénalisée par le contournement systématique de la Gironde via Bordeaux.

V. PERFORMANCE DU RESEAU ROUTIER ET PERIPHERICITE

La performance du réseau routier dépend de quatre éléments qui interviennent simultanément dans les niveaux d'accessibilité observables :

- la **structure du réseau** (sinuosité et configuration des voies),
- la **qualité des infrastructures**, appréhendée par leurs **caractéristiques techniques** (nombre de voies, largeur des chaussées, aménagement des côtés, etc.),
- les **caractéristiques techniques du véhicule** utilisé,
- et la **congestion** qui en perturbe le fonctionnement.

Compte tenu de l'échelle d'analyse retenue ici, la prise en compte nécessairement approfondie des mécanismes de congestion locale n'apparaît pas indispensable⁷. C'est pourquoi les vitesses moyennes adoptées pour le calcul des durées de parcours ont été calées sur un fonctionnement normal du réseau indépendamment des pics de congestion pouvant apparaître ponctuellement à certaines heures de la journée ou à certaines périodes de l'année. Vitesses qui, rappelons-le, tiennent compte du type de véhicule utilisé et des caractéristiques techniques des infrastructures empruntées.

Si l'on retire la congestion et le type de véhicule utilisé, qui est ici toujours le même, la **performance** du réseau va dépendre en définitive de sa **structure** et de la **qualité** de ses **infrastructures**.

⁶ Voir à ce sujet : L. CHAPELON. « Évaluation des projets autoroutiers : vers une plus grande complémentarité des indicateurs d'accessibilité ». Les Cahiers Scientifiques du Transport, n°33, 1998, p. 11-40.

⁷ Précisons cependant qu'un module de gestion des flux a été développé dans le logiciel NOD°. Ce module permet de calculer, pour un type de véhicule donné, une **vitesse spécifique** sur chaque arc en fonction du **débit** observé et de la **capacité maximale** de l'infrastructure.

Dans un premier temps, la **somme des temps de parcours minimaux** (carte 5) entre chaque ville et toutes les autres apparaît l'indicateur le plus approprié pour appréhender de manière synthétique **dans quelle mesure le couple structure - qualité des infrastructures routières est susceptible de modifier le schéma initial de l'accessibilité obtenu par l'intermédiaire des seules longueurs euclidiennes** (carte 2) :

$$t_r(i) = \sum_{j=1}^n t_r(i, j)$$

Où : i est l'indice de la ville d'origine

j est l'indice de la ville de destination

$t_r(i, j)$ est la **durée du chemin minimal** sur le réseau entre i et j

$t_r(i)$ est la **somme des durées minimales de parcours** sur le réseau entre i et chacune des autres villes

L'interprétation des résultats devra tenir compte des trois facteurs explicatifs qui interviennent simultanément dans cet indicateur, à savoir, la **position géographique** des villes, la **structure** du réseau routier et la **qualité de ses infrastructures**.

Comparativement aux cartes 2 et 3, la carte 5 montre un **déplacement vers le Nord du centre de gravité de la structure initiale de l'accessibilité au détriment des villes du Sud de la France**. Le centre n'est plus Bourges, mais Orléans (124 310 min.) suivi de Paris (124 772 min.) et des villes de la région parisienne. Cette constatation confirme et renforce la conclusion avancée précédemment sur la situation privilégiée des villes du Nord de la France, mieux dotées en infrastructures rapides.

On observe clairement l'influence de l'organisation étoilée des infrastructures rapides centrée sur Paris puisque cette organisation particulière entraîne le déplacement vers le Nord du «centre de gravité euclidien», montrant de ce fait que la structure et la qualité d'un réseau sont potentiellement en mesure de contrebalancer l'influence de la position géographique des villes.

La structure circulaire initiale de l'accessibilité est donc remplacée par une **structure rayonnante** ; les infrastructures rapides, principalement autoroutières, déformant la régularité de départ. L'effet tunnel engendré par les autoroutes apparaît clairement puisque l'accessibilité se dégrade rapidement de part et d'autre de celles-ci, comme on peut le constater le long de l'axe rhodanien au Nord et au Sud de Lyon.

Les résultats confirment également le déplacement vers le Sud-Est du statut peu enviable de ville périphérique, occupé ici par Castellane 255 044 min. devant Menton 253 009 min., et ce «aux dépens» de Brest (247 438 min.).

Le rapport entre les résultats de la ville centre et de la ville périphérique est ici de 2,05. La prise en compte de la qualité des infrastructures tend ainsi à réduire l'écart entre villes favorisées et villes défavorisées observé avec la seule structure du réseau. Cet écart reste cependant supérieur à celui inhérent au seul positionnement géographique.

La situation périphérique des villes de la façade atlantique n'apparaît pas remise en cause par les résultats issus de cet indicateur. Elle semble même localement plus défavorable que celle observée sur la carte 3.

Il convient d'être prudent quant à la formulation de toute conclusion issue des résultats précédents. **On peut tout de même avancer que, comparativement à la situation des autres villes françaises, le déficit d'accessibilité des villes de la façade atlantique engendré par une localisation**

géographique périphérique n'est globalement compensé ni par la structure ni par la performance du réseau routier.

Cependant, de là à affirmer que la performance du réseau routier national défavorise la façade atlantique par rapport à d'autres régions, il y a un pas que la nature des résultats précédents ne nous permet pas de franchir. La conclusion avancée ci-dessus fait état de **comparaison avec** une situation géographique de référence et de **compensation par rapport** à d'autres villes plus favorisées. En effet, **tous les indicateurs précédents tenaient compte du facteur géographique** et intégraient donc la **contrainte** due à «l'effet de bordure» qui en découle.

Pour **isoler la part due à la seule performance du réseau** dans les résultats de la carte 5, et donc pour **éliminer l'effet de bordure**, il convient de raisonner en terme de **vitesse moyenne de déplacement** sur le réseau. Ce n'est qu'une fois cet indicateur calculé que l'on pourra avancer une conclusion quant à la **performance propre du réseau** et à ses conséquences sur l'accessibilité de telle ou telle ville.

L'utilisation de la vitesse moyenne comme indicateur d'accessibilité nécessite, au préalable, quelques mises au point.

Si l'on envisage d'étudier le **niveau moyen de qualité des infrastructures** empruntées, il convient de calculer la **vitesse moyenne effective** formulée de la manière suivante :

$$v_r(i) = \frac{\sum_{j=1}^n l_r(i, j)}{\sum_{j=1}^n t_r(i, j)}$$

Où : i est l'indice de la ville d'origine

j est l'indice de la ville de destination

$t_r(i, j)$ est la **durée minimale du trajet** entre i et j sur le réseau

$l_r(i, j)$ est la **longueur en kilomètres du trajet de durée minimale** précédent

$v_r(i)$ est la **vitesse moyenne effective de déplacement** sur le réseau entre i et toutes les autres villes

Par **vitesse effective** on entend la **vitesse réelle de déplacement** sur le réseau, puisque la longueur kilométrique retenue correspond **exactement** à celle parcourue pour effectuer le trajet le plus court en temps. C'est en quelque sorte la **vitesse moyenne d'un automobiliste circulant sur le réseau entre chaque ville et toute les autres.**

Extraire la durée du trajet de kilométrage minimal aurait également été possible, mais la logique de minimisation du temps de parcours apparaît plus proche de l'utilisation généralement faite du réseau.

Deux limites peuvent être formulées quant à l'interprétation des résultats issus de cet indicateur.

La première concerne l'**objectif à atteindre**. En effet, il n'est pas question ici de rechercher des grandeurs «signifiantes» pour les automobilistes, mais d'élaborer un indicateur pertinent afin d'expliquer l'importance respective des différents facteurs intervenant dans les niveaux d'accessibilité observés, et en particulier celui se rapportant à la **performance** du réseau. Or, cette dernière n'est que partiellement appréhendée par cet indicateur puisqu'en retenant la longueur kilométrique réelle au numérateur on supprime, certes, l'influence de la position géographique, mais on masque en même temps les détours imposés par la structure du réseau. Ce qui n'est pas le but recherché.

L'utilisation de l'indicateur en question pourrait se justifier si l'on s'intéressait à la seule **qualité** des infrastructures, mais en aucun cas lors d'une étude de la performance du réseau telle que nous l'avons définie ci-dessus.

La seconde limite concerne l'impossibilité de son utilisation dans un cadre d'évaluation de projets. En effet, la vitesse moyenne effective n'est pas un indicateur qui se prête à une analyse différentielle. La vitesse résultant du rapport entre la longueur kilométrique du trajet de durée minimale et la durée en question, il se peut fort bien, dans certains cas, que la modification de l'itinéraire optimal suite à une amélioration de l'offre **fasse décroître la longueur kilométrique plus vite que ne décroît la durée de parcours.**

Ainsi, la réalisation de nouvelles infrastructures peut entraîner une **réduction de la vitesse moyenne effective de déplacement sans que cette réduction puisse être interprétée négativement** puisqu'elle résulte d'un changement d'itinéraire optimal et donc d'un gain de temps sur tout ou partie des trajets effectués.

Pour ces deux raisons principales l'indicateur précédent n'a pas été utilisé ici. La solution adoptée consiste à **remplacer la longueur kilométrique du trajet de durée minimale par la longueur euclidienne**, ce qui permet de lever les deux ambiguïtés précédentes :

$$v_e(i) = \frac{\sum_{j=1}^n l_e(i, j)}{\sum_{j=1}^n t_r(i, j)}$$

Où : i est l'indice de la ville d'origine

j est l'indice de la ville de destination

$l_e(i, j)$ est la **longueur euclidienne** séparant i de j

$t_r(i, j)$ est la **durée minimale** du trajet entre i et j sur le réseau

$v_e(i)$ est un **indicateur d'accessibilité en vitesse moyenne** traduisant l'influence de la performance du réseau sur l'accessibilité de la ville i

Le temps minimal de parcours présent au dénominateur étant fonction de la position géographique des villes, de la structure et de la qualité du réseau, il ressort que **la longueur euclidienne portée au numérateur va gommer l'influence de la position géographique sans altérer celle de la performance du réseau.**

Ainsi, **plus la vitesse obtenue est élevée, plus la ville concernée tire bénéfice de la performance globale du réseau** que ce soit en terme de tracé des voies ou de qualité des infrastructures.

En outre, la longueur euclidienne étant invariable quel que soit l'état de l'offre, elle sert de **base de comparaison stable** entre deux configurations distinctes du réseau. De ce fait, suite à une **amélioration** de l'offre, la vitesse moyenne ne peut subir aucune altération, comme ce peut être le cas avec la vitesse moyenne effective, et seule l'importance de son augmentation est visualisée.

Cet indicateur de performance du réseau se prête donc particulièrement bien à une **évaluation diachronique** à partir de scénarios d'aménagement.

Les résultats représentés carte 6 confirment les observations formulées à propos de l'effet tunnel puisque les vitesses moyennes de déplacement sont globalement meilleures au départ (ou à

destination) des villes desservies par une autoroute ou une voie express et se dégradent rapidement de part et d'autre de ces axes performants.

C'est notamment le cas en région Poitou-Charentes entre des villes comme Poitiers, Niort ou Saintes qui bénéficient pleinement de la performance de l'autoroute A 10 et des villes comme Angoulême, Bressuire ou Montmorillon non desservies par l'autoroute. Le même constat peut être opéré, à un autre niveau, en Bretagne entre les villes desservies par une voie express (Guingamp, Rennes, Derval, Lorient, Vannes...) et celles qui ne le sont pas (Redon, Loudéac, Roscoff, Carhaix-Plouguer...).

Le rôle des premiers arcs empruntés par les chemins minimaux apparaît ici fondamental. On comprend donc mieux l'importance accordée par certaines villes à l'inscription au schéma directeur routier national de tel ou tel projet assurant leur desserte. Schéma qui constitue, dans de nombreux cas, le principal **facteur de désenclavement**.

On remarque, carte 6, la situation peu favorable de la façade atlantique par rapport à celle de la plupart des autres périphéries. En effet, qu'il s'agisse des villes du pourtour méditerranéen ou des villes des régions frontalières belge, luxembourgeoise et allemande, la performance globale des infrastructures routières qui les desservent dépasse largement, dans la majorité des cas, celle des infrastructures desservant les villes de la façade atlantique. Aucune des villes de cette dernière ne se situe dans la classe des vitesses les plus élevées alors qu'on y trouve des villes littorales comme Perpignan, Narbonne, Marseille, Boulogne, Calais ou Dunkerque et des villes frontalières comme Lille, Valenciennes, Thionville, Forbach, Sarreguemines ou Haguenau.

Même si la situation de la façade atlantique reste plus enviable que celle de certaines régions du Massif Central et même si l'on ne peut pas parler d'un véritable sous-équipement routier, il ressort qu'une **mise à niveau de la performance de ses infrastructures routières semble nécessaire** pour combler le retard accumulé par rapport à d'autres périphéries mieux dotées en la matière.

Dès lors, nous sommes en droit de nous interroger sur la **capacité du schéma directeur routier national à combler cette lacune**, c'est à dire sur l'existence d'une réelle volonté de rééquilibrage de la part des pouvoirs publics.

VI. CONSEQUENCES DE L'ACHEVEMENT DU SCHEMA DIRECTEUR ROUTIER NATIONAL

La simulation (carte 7) des infrastructures non encore réalisées, prévues au schéma directeur routier national de 1992 a pour objectif de faire ressortir les principales villes bénéficiaires de ce programme d'investissements. Il s'agit donc de comparer la situation actuelle, pour laquelle une partie du programme a déjà été réalisée, et la situation future une fois les investissements entièrement achevés en 2005. S'il semble évident que la situation périphérique des villes de la façade atlantique ne peut être remise en cause compte tenu du poids de leur localisation géographique, tout du moins pourrions nous observer si le **retard de performance** des infrastructures qui les desservent est susceptible d'être comblé ou non.

Pour ce faire, il convient de déterminer, pour chaque ville, le gain d'accessibilité procuré par l'achèvement du schéma directeur. Gain obtenu par **différence absolue entre les résultats issus de l'indicateur d'accessibilité en vitesse moyenne calculé respectivement après ($v_{e\ 2005}(i)$) et avant (état actuel : $v_{e\ 1998}(i)$) achèvement du schéma directeur (carte 8) :**

$$C_8(i) = v_{e\ 2005}(i) - v_{e\ 1998}(i)$$

On observe clairement, carte 8, qu'avec la Corrèze (Brive), le Lot (Cahors), les Hautes-Alpes (Gap), les Alpes-de-Haute-Provence (Sisteron, Digne), l'Ariège (Foix), l'Allier (Moulin, Vichy), le Puy-de-Dôme (Clermont-Ferrand), le Tarn-et-Garonne (Montauban) et la Nièvre (Nevers, Cosne), départements accusant actuellement un déficit d'accessibilité important, l'Ouest français est le grand bénéficiaire de l'achèvement du schéma directeur.

En particulier, la région bordelaise bénéficiera pleinement de la future autoroute A 73 traversant le Massif Central. Il en est de même pour le Val-de-Loire, la Touraine et la région d'Alençon qui tirent grandement profit des autoroutes A 85 (Angers - Vierzon), A 87 (La Roche-sur-Yon - Angers), A 28 (Rouen - Alençon - Le Mans - Tours) et A 88 (Caen - Alençon).

Toutes les villes de la façade atlantique ne sont donc pas dotées de la même manière. Si des villes comme Alençon, Argentan, Saumur, Tours, Cholet, Angers, Laval, Le Mans, Périgueux, Libourne, Arcachon ou Bordeaux présentent des gains d'accessibilité élevés, il en est différemment de Brest, Quimper, Lorient, Vannes, La Rochelle, Rochefort, Niort, Poitiers, Angoulême, Pau, Orthez, Hendaye, Bayonne ou Tarbes. Ces dernières étant toutefois déjà desservies par une autoroute ou une voie express à 2 fois 2 voies.

La volonté de créer un itinéraire alternatif entre le Nord et le Sud-Ouest de la France contournant l'Île-de-France par le Nord apparaît clairement sur la carte 8. Les villes localisées à proximité de cet arc routier ressortent comme les premières grandes bénéficiaires des investissements programmés, en particulier celles situées en Pays-de-Loire et en Haute et Basse Normandie. La partie Sud-Ouest de cet arc étant déjà réalisée, les plus forts gains d'accessibilité dans cette région s'expliquent principalement par la réalisation de l'axe autoroutier traversant le Massif Central d'Ouest en Est.

Remarquons également que les régions périphériques citées précédemment pour la performance de leur réseau ne bénéficient que faiblement de l'achèvement du schéma directeur ; le pourtour méditerranéen et le Nord-Est en particulier. Mais **peut-on parler d'un rééquilibrage de performance** avec la façade atlantique ?

Pour répondre à cette question il convient d'éditer les résultats de l'**indicateur d'accessibilité en vitesse moyenne** ($v_{e, 2005}(i)$) calculé sur la base de la situation en 2005 (carte 9).

La carte 9 montre tout d'abord clairement la haute performance des infrastructures routières desservant les villes du Nord de la France par rapport à ce que l'on observe globalement dans le reste du pays.

En outre, l'accessibilité des villes de la façade atlantique se trouve être nettement améliorée comparativement à celle des villes du pourtour méditerranéen et des villes proches des frontières du Nord-Est. A ce sujet, parler de **rééquilibrage** semble approprié même si des disparités demeurent... et demeureront toujours du fait de l'impossibilité d'une homogénéisation totale et parfaite de la performance des infrastructures routières.

Cependant, si Bordeaux sera particulièrement avantagée par la performance du réseau routier en 2005, d'autres villes de la façade atlantique se distingueront par un déficit d'accessibilité persistant. Il s'agit de Soulac-sur-mer, dont la position géographique particulière explique l'importance du déficit observé, Sarlat-la-Canéda, Montmorillon et dans une moindre mesure de Villeneuve-sur-Lot, Bergerac, Chalais, Barbezieux, Angoulême, Ruffec, Sauzé-Vaussais, Confolens, Bellac, Le Blanc, Loches, Loudun, Bressuire, La Châtaigneraie et Parthenay. Toutes ces villes étant situées à l'intérieur des mailles du réseau autoroutier !

CONCLUSION

De manière synthétique on peut affirmer que l'accroissement du maillage autoroutier programmé au schéma directeur routier national bénéficiera pleinement à la plupart des villes de la façade atlantique. Le déficit d'accessibilité observé par rapport à d'autres périphéries, mieux dotées en infrastructure rapides, est en voie d'être comblé d'ici 2005.

Cependant, le maillage n'est pas encore suffisamment fin pour éviter des disparités trop importantes entre les villes. Ainsi, la localisation des «zones d'ombre» qui vient d'être opérée est importante dans la perspective de l'élaboration d'un nouveau schéma directeur. Nombre de villes du Massif Central, en particulier, seront encore fortement pénalisées par la performance du réseau routier en 2005.

Il n'est évidemment pas question de préconiser la desserte autoroutière de toutes les villes de la carte 9 situées dans l'une des deux dernières classes de vitesse, mais plutôt d'apporter des éléments de réflexion susceptibles d'éclairer les choix futurs en matière d'équipement routier.

Éléments qui devront être complétés par une analyse plus fine à l'échelle régionale et par le calcul d'autres indicateurs d'accessibilité, complémentaires de ceux employés ici, et plus particulièrement les indicateurs de circuité. En outre, ces éléments de réflexion devront évidemment être confrontés à d'autres critères d'évaluation, économiques et environnementaux notamment, car on pourrait fort bien envisager d'évaluer une autre orientation d'aménagement qui consisterait à laisser délibérément certaines zones à l'écart des grands équipements de transport.

La prise de décision en la matière est chose complexe et c'est en progressant dans le sens d'une plus grande **précision**, d'une plus grande **diversité** et d'une plus grande **complémentarité** des indicateurs d'accessibilité que sera mieux éclairée la **relation entre le réseau et l'espace** dans lequel il s'inscrit.

L'important est de ne jamais dissocier l'indicateur utilisé du type de réponse qu'il est capable d'apporter. La conception d'un indicateur d'accessibilité est une chose, son utilisation à bon escient en est une autre...

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AURAY (J. P.), MATHIS (Ph.). - « Analyse spatiale et théorie des graphes », p. 81-91 in : encyclopédie d'Économie spatiale : concepts, comportements, organisations / sous la direction de Jean-Paul Auray, Antoine Bailly, Pierre-Henri Derycke, Jean-Marie Huriot. - Paris : Economica, 1994. (Association de Science Régionale de Langue Française, bibliothèque de science régionale.)
- BERGE (C.). - Graphes. - 3^e éd. - Paris : Gauthier-Villars, 1983. - (Collection μ .)
- CHAPELON (L.). - « Evaluation des projets autoroutiers : vers une plus grande complémentarité des indicateurs d'accessibilité ». - Les Cahiers Scientifiques du Transport, n° 33, 1998.
- CHAPELON (L.). - 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 : CESA, 1997.
- CHAPELON (L.). - « Modélisation multi-échelles des réseaux de transport : vers une plus grande précision des accessibilités temporelles ». - Mappemonde, n° 3, 1996.
- DUPUY (G.). - Systèmes, réseaux et territoires : principes de réseautique territoriale. - Paris : Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1985.
- L'HOSTIS (A.). - Images de synthèse pour l'Aménagement du territoire : la déformation de l'espace par les réseaux de transport rapide. - Thèse de doctorat : Aménagement - Tours : CESA, 1997.
- MARCHAND (B.). - « Deformation of a transportation surface ». - Annals of the association of American geographers, vol. 63, n° 4, December 1973.
- MINOUX (M.), BARTNIK (G.). - Graphes, algorithmes, logiciels. - Paris : Dunod, 1986.

**EVALUATION DES PROJETS AUTOROUTIERS :
VERS UNE PLUS GRANDE COMPLEMENTARITE
DES INDICATEURS D'ACCESSIBILITE.
APPROCHE PAR ANALYSE DES DETOURS IMPOSES ET DES
ITINERAIRES EMPRUNTES**

LAURENT CHAPELON
GROUPE "TRANSPORTS"
CENTRE D'ETUDES SUPERIEURES D'AMENAGEMENT

INTRODUCTION

L'appréhension du rôle des infrastructures de transport dans l'émergence d'un renouveau régional se heurte à deux problèmes majeurs que l'on pourrait résumer de la façon suivante. Le premier, en rapport avec le développement économique régional, renvoie aux nombreuses difficultés rencontrées pour modéliser d'éventuels **effets structurants**. Partant de ce constat, la solution de repli adoptée à l'échelon national semble être offerte par le concept d'**accessibilité**.

C'est en effet l'orientation que propose le groupe de réflexion interadministratif sur les transports présidé par le Commissaire au Plan, dont

le rapport stipule que "la politique du souhaitable ne peut être que celle d'une recherche de l'équité spatiale, consistant à donner des chances comparables de développement à chacun des territoires urbains ou régionaux **en résorbant du mieux possible leur déficit d'accessibilité**. Au pire, ils bénéficieront d'une qualité d'offre qui ne lésera pas les usagers du transport ; au mieux, cette situation sera mise à profit pour favoriser un nouvel essor économique" (COMMISSAIRE AU PLAN, 1992:331).

Une traduction concrète en est donnée par la loi d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire dont 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"¹.

Ces critères d'accessibilité aux infrastructures rapides ne sont cependant pas les seuls susceptibles d'être utilisés pour guider les choix en matière d'investissement en infrastructures. De ce fait, de l'orientation précédente découle un second problème fondamental, celui de **l'appréhension des divers aspects de l'accessibilité lors des processus d'évaluation**.

C'est dans la perspective d'apporter des réponses efficaces à ce dernier type de problème qu'a été élaboré le **logiciel NOD**². Il s'agit d'un outil d'aide à la décision en aménagement qui permet d'étudier les **répercussions spatio-temporelles de projets visant à modifier l'offre de transport**. Son champ d'application couvre à la fois les modes individuels et collectifs (gestion des fréquences, des horaires, etc.).

Plus précisément, le logiciel NOD est un outil de simulation, informatisé, exploitant les propriétés des graphes, qui a pour finalité de **comparer et d'évaluer différents scénarios d'aménagement**. L'évaluation des projets simulés dans NOD repose sur un **ensemble d'indicateurs permettant de prendre en compte les différentes dimensions du concept d'accessibilité**.

Les plus couramment utilisés sont, sans conteste, ceux qui conduisent à l'obtention d'une **matrice des longueurs kilométriques minimales de**

¹ Article 17. - I de la 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).

² NOD © : logiciel déposé au titre de la propriété littéraire et artistique – Laurent Chapelon, Philippe Mathis – Laboratoire du CESA – Université de Tours – 1993/98.

déplacement et d'une matrice des temps de trajet minimaux. L'évaluation reposera ainsi sur l'analyse de l'évolution (gains ou pertes) de ces deux matrices suite à la modification de l'offre.

Leur sommation en ligne et en colonne permet de dégager un ensemble d'indicateurs supplémentaires renvoyant au concept de **centralité**³. Dans cette famille, l'un des indicateurs les plus élaborés est celui donné par BAVELAS (1950) pour le calcul de la centralité relative.

Nous ne ferons qu'évoquer ici l'existence de la centralité de manière à focaliser nos propos sur deux autres familles d'indicateurs particulièrement utiles lors de l'évaluation de projets, car complémentaires l'une de l'autre, mais généralement absentes des études préliminaires à vocation prospective.

Faisant également appel au **calcul des plus courts chemins en kilomètres ou en minutes**, ces indicateurs permettent de montrer des conséquences spatio-temporelles non observables directement à partir des seuls indicateurs de centralité.

Il s'agit de la **circuité** et de la **structure des itinéraires optimaux** sur les réseaux. A leur sujet, les nouvelles potentialités offertes par l'évolution de la micro informatique nous ont permis d'améliorer de façon non négligeable la précision des calculs, et ce, tant au niveau des algorithmes qu'au niveau du volume de données traitées par le logiciel.

Nous illustrerons nos propos en étudiant les répercussions de trois projets autoroutiers sur **l'accessibilité routière en France métropolitaine** : l'achèvement des autoroutes A 20 (Vierzon - Toulouse), A 51 (Grenoble - Sisteron) et A 75 (Clermont-Ferrand – Béziers).

Le choix de ces projets a été guidé par les résultats de la modélisation des critères d'accessibilité de la loi 95-115 à l'aide du logiciel NOD. Cette modélisation nous a en effet permis de dégager les zones de non respect des critères, c'est-à-dire les zones d'intervention nécessaire pour que les critères soient respectés en 2015 (CHAPELON, 1998) (Cartes 1 à 3).

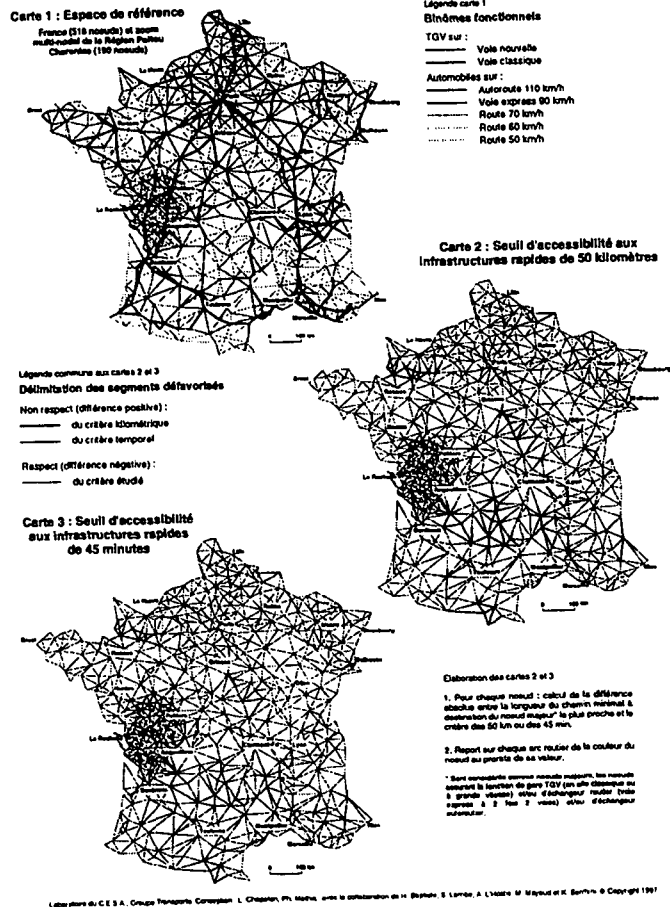
Or, les projets simulés sont tous susceptibles de contribuer à résorber, au moins partiellement, le déficit d'accessibilité observé au niveau des zones défavorisées dans lesquelles ils s'inscrivent.

Ces projets nous permettront donc de montrer les **potentialités d'interprétation** offertes par chacune des deux familles d'indicateurs d'accessibilité mentionnées précédemment, mais également par leur **complémentarité**. En particulier, les indicateurs de circuité nous montreront

³ Voir entre autres LANTNER (1974:178-190) et HARARY *et al.* (1968).

qu'une amélioration de l'offre ne se traduit pas uniquement par des effets positifs puisque des détours plus importants peuvent être nécessaires dès lors que l'on souhaite bénéficier des gains de temps procurés par l'utilisation de la nouvelle infrastructure.

CRITERES D'ACCESSIBILITE DE LA LOI 95-115



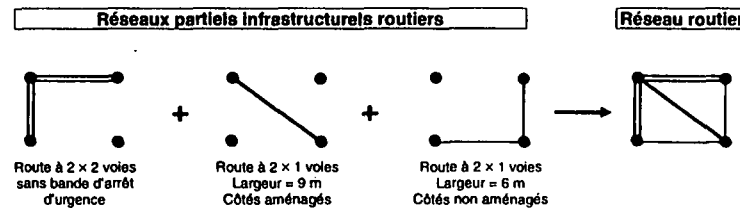
MODÉLISATION DES RÉSEAUX DE TRANSPORT

Le logiciel NOD repose sur la modélisation des réseaux de transport à l'aide de graphes valués. Dans le cadre des applications présentées ici seuls les réseaux routier et autoroutier interviennent.

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. Une illustration en est présentée sur la Figure 1.

Figure 1 : Exemple d'une juxtaposition de réseaux routiers partiels



Le réseau routier est donc issu de la juxtaposition de plusieurs réseaux partiels infrastructurels ; en l'occurrence quatre dans nos applications (Carte 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.

L'affectation des infrastructures routières à tel ou tel réseau partiel infrastructurel a été réalisée à partir des cartes Michelin au 1/200 000^{ème}, 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 outre, l'affectation de tel ou tel type de réseau partiel à chacun des arcs du graphe tient compte du nombre et de l'importance des agglomérations traversées. En effet, les traversées d'agglomérations entraînent une réduction souvent importante de la performance des liaisons routières

concernées. Réduction qui ne pouvait pas être négligée lors du calcul des accessibilités.

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 spécifique 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, de relevés de terrain puis ont été recoupées avec un certain nombre de données Minitel⁴.

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. Quant au calcul des **plus courts chemins**, il est effectué à l'aide de l'algorithme de FLOYD⁵ modifié pour l'obtention des différents indicateurs.

Les trois premières cartes montrent, 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'opérateur⁶. Pour la région Poitou-Charentes, il s'agissait de préciser, localement, les résultats obtenus à un niveau d'organisation supérieur, à savoir le niveau national.

ANALYSE DES DÉTOURS

GÉNÉRALISATION DU DEGRÉ DE CIRCUITÉ DE KANSKY

Tel que défini par KANSKY (1989), le degré de circuité permet, pour chaque nœud considéré comme origine, de mesurer le **détour** imposé, par l'utilisation des réseaux, à un usager se rendant en chacun des autres nœuds, **par rapport à une situation optimale en ligne droite**.

La valeur affectée à chaque nœud traduit la **qualité de sa localisation** au sein des réseaux de transport. En ce sens, il s'agit d'un aspect particulier de

⁴ Principalement AMI de Michelin et ITI de la Prévention routière.

⁵ Voir entre autres MINOUX, BARTNIK (1986:147-152).

⁶ Pour plus de précisions sur le processus de zoom, voir CHAPELON (1996).

la plus ou moins bonne accessibilité dont bénéficie le nœud en question. Qualité elle-même fonction de la position géographique du nœud et de la structure des réseaux. Cette dernière étant héritée des différentes contraintes (topographiques, foncières, etc.) qui sont intervenues au moment de la détermination du tracé des voies.

La formulation de référence donnée par KANSKY est la suivante :

$$\text{degree of circuity} = \frac{\sum_{i=1}^v (E - D)^2}{v}$$

où E est "le plus court itinéraire possible par les réseaux existants, en miles" et D est "la ligne la plus courte que l'on puisse imaginer entre deux sommets donnés (vol d'oiseau)". v étant le nombre de sommets du graphe.

Le degré de circuité est donc donné, pour un sommet origine et à destination de tous les autres sommets du graphe, par la moyenne du carré des différences entre les longueurs des plus courts chemins effectués par les réseaux (E) et les longueurs euclidiennes ($D \leq E$).

Les travaux que nous avons entrepris à partir de cet indicateur nous ont conduit à élargir le champ d'application de la formule et à proposer sa **généralisation**, afin que les différents facteurs explicatifs de la circuité puissent être correctement appréhendés.

Soit Ci_a le degré de circuité du sommet a recherché et n le nombre de sommets du graphe. Nous posons :

$$Ci_a = \frac{1}{n} \sum_{b=1}^n [l_1(a,b) - l_2(a,b)]^2 \text{ avec } l_1 \geq l_2$$

l_1 et l_2 sont deux longueurs kilométriques renvoyant chacune à un type de cheminement différent. Il peut s'agir de **longueurs euclidiennes directes**, de **longueurs euclidiennes arc par arc** ou de **longueurs kilométriques sur les réseaux**. Pour chaque couple (a, b) de sommets, seule la condition $l_1 \geq l_2$ doit être respectée. De plus, dans le cadre de recherche qui est le nôtre, la circuité renverra toujours à la **comparaison de deux longueurs kilométriques**, et ce, quelle que soit la signification de l_1 et de l_2 .

Enfin, plus le degré de circuité d'un nœud est élevé, plus les détours à effectuer pour rejoindre l'ensemble des autres nœuds sont importants, plus son interprétation en termes de conditions d'accès, comparativement à la situation optimale, est négative.

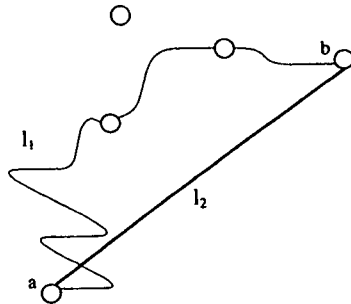
Partant de cette formule, le calcul de l_1 peut être opéré sur la base de deux logiques distinctes : la logique de **minimisation des longueurs kilométriques de déplacement** et celle de **minimisation des temps de trajet**. Chacune d'elles renvoyant à un **comportement** spécifique des automobilistes utilisant les réseaux de transport étudiés.

Calcul du détour moyen global imposé par la structure des réseaux

La circuité globale Ci_g est obtenue par la comparaison entre (Figure 2) :

- les longueurs kilométriques des chemins minimaux **par les réseaux** calculés en kilomètres ($l_1 = e_{km}$) ou en minutes ($l_1 = l_{km}(e_{min})^7$),
- et les longueurs euclidiennes "**directes**"⁸ ($l_2 = l_{e,d}$).

Figure 2 : Calcul du détour global



l_1 : longueur du cheminement minimal sur les réseaux
 l_2 : longueur euclidienne directe

On retrouve ici la définition initiale de KANSKY qui fournit la valeur maximale de la circuité, tous facteurs explicatifs confondus. l_2 est extraite de la matrice des longueurs euclidiennes calculée classiquement à l'aide de la formule :

⁷ Dans ce dernier cas, il convient de déterminer simultanément le temps de trajet le plus court et la longueur kilométrique de ce trajet temporel minimal. Dans ce cas, e_{min} renvoie à l'écart calculé avec une valuation temporelle ; la longueur kilométrique l_{km} retenue ici n'étant plus la longueur e_{km} minimale, mais celle du trajet le plus rapide. D'un point de vue algorithmique, cela revient à extraire et à cumuler la longueur kilométrique de chacun des arcs intervenant dans les chemins optimaux en temps, de manière à ce que la longueur du chemin corresponde à celle réellement parcourue.

⁸ Par opposition aux longueurs euclidiennes des chemins calculées arc par arc.

$$LEuclid(a, b) = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

Il est ainsi possible d'observer, pour chaque nœud, l'**importance du détour moyen** imposé aux usagers par l'utilisation des réseaux de transport, par rapport à une situation euclidienne directe optimale. La **structure des réseaux**, à l'origine des détours observés, s'explique non seulement par un ensemble de contraintes topographiques mais également par l'agencement du parcellaire, les différentes formes d'occupation humaine que l'on peut observer sur les territoires étudiés, etc.

De plus, si l'on se place dans une logique de minimisation des temps de parcours, les résultats obtenus initialement avec la logique kilométrique seront sensiblement modifiés compte tenu de la nécessité de **détours plus importants pour rejoindre les nœuds des réseaux rapides**. Dès lors, l'interprétation des résultats obtenus dans cette seconde logique devra tenir compte d'un élément supplémentaire, à savoir la **localisation des infrastructures rapides** et notamment des axes autoroutiers et ferroviaires à grande vitesse.

On perçoit de ce fait l'importance des critères de circuité dans l'évaluation des projets relatifs aux réseaux rapides puisque le **choix du tracé va conditionner l'accroissement ou la réduction des détours imposés aux usagers** souhaitant gagner du temps en utilisant la nouvelle infrastructure.

Il ressort donc que **dans la logique temporelle**, les valeurs nodales de la circuité globale **seront au moins égales** à celles de la circuité kilométrique globale, dans la mesure où les longueurs kilométriques des chemins les plus rapides ne peuvent, de toute évidence, pas être inférieures à celles des chemins les plus courts (en kilomètres).

Deux facteurs explicatifs distincts interviennent simultanément dans le détour moyen global mis en évidence à l'aide de la circuité globale :

- le détour imposé par l'**enchaînement des arcs** du trajet minimal sur les réseaux,
- et le détour dû à la **sinuosité** des infrastructures empruntées pour effectuer ce trajet minimal.

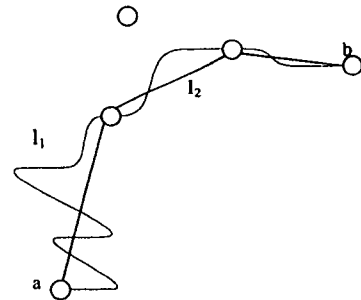
Il apparaît donc fondamental de pouvoir étudier ces deux facteurs séparément de manière à affiner l'interprétation des résultats obtenus précédemment.

Importance du détour moyen dû à la sinuosité des voies

Afin de mettre en évidence la contrainte liée à la sinuosité des voies, Ci_s , nous appliquerons la généralisation de la formule de KANSKY énoncée ci-dessus, en retenant, respectivement, pour l_1 et l_2 (Figure 3) :

- les longueurs kilométriques des chemins minimaux par les réseaux calculés en kilomètres ($l_1 = e_{km}$) ou en minutes ($l_1 = l_{km}(e_{min})$),
- et les longueurs euclidiennes de ces chemins minimaux par les réseaux ($l_2 = l_{e,r}(e_{km})$ ou $l_2 = l_{e,r}(e_{min})$).

Figure 3 : Calcul du détour dû à la sinuosité des voies



l_1 : longueur du cheminement minimal sur les réseaux
 l_2 : longueur euclidienne arc par arc de l_1

Le terme l_2 ne correspond plus ici à du "vol d'oiseau direct" entre le sommet a d'origine et le sommet b de destination, mais à du "vol d'oiseau arc par arc" entre les différents nœuds constitutifs des chemins. L'obtention de cet indicateur nécessite cependant, lors du calcul des écarts, de récupérer **simultanément**, les longueurs kilométriques des chemins minimaux par les réseaux calculés en kilomètres ou en minutes selon la logique de déplacement retenue, et les longueurs euclidiennes, arc par arc, de ces chemins. Pour ce faire, dès qu'un arc intervient dans un chemin minimal, sa longueur euclidienne est systématiquement extraite et cumulée à celle des autres arcs du chemin en question.

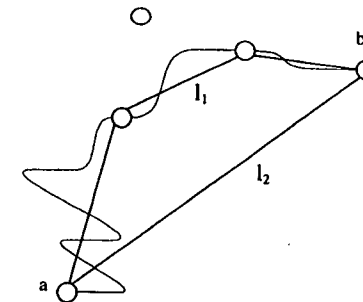
L'indicateur de circuité obtenu ici permet ainsi, pour tout nœud considéré comme origine, de connaître le détour moyen dû à la seule sinuosité des voies subi par un utilisateur des réseaux se rendant en chacun des autres nœuds reliés.

Importance du détour moyen dû aux enchaînements d'arcs

Par enchaînements d'arcs, nous entendons le passage, imposé aux utilisateurs des réseaux, par une succession de nœuds qui les écartent du chemin idéal direct de type vol d'oiseau, et ce, indépendamment de la sinuosité des voies. L'obtention de l'indicateur $Ci_{e,u}$ correspondant s'opère par comparaison entre (Figure 4) :

- les longueurs euclidiennes, arc par arc, des écarts calculés en kilomètres ($l_1 = l_{e,r}(e_{km})$) ou en minutes ($l_1 = l_{e,r}(e_{min})$),
- et les longueurs euclidiennes directes entre l'origine et la destination ($l_2 = l_{e,d}$).

Figure 4 : Calcul du détour dû aux enchaînements d'arcs



l_1 : longueur euclidienne arc par arc du chemin minimal sur les réseaux
 l_2 : longueur euclidienne directe

De la même manière que pour l_2 dans le cas de la sinuosité, l'obtention de l_1 nécessite ici de calculer les longueurs euclidiennes de chacun des arcs du graphe et de les extraire lorsque les arcs en question interviennent dans un chemin minimal sur les réseaux.

Les valeurs nodales obtenues fournissent l'importance du détour moyen dû aux enchaînements d'arcs imposé à un usager des réseaux souhaitant se rendre à l'ensemble des autres nœuds en minimisant son kilométrage ou son temps de parcours.

Dans la logique temporelle, l'importance du facteur lié à l'enchaînements des arcs s'explique non seulement par les détours supplémentaires éventuels nécessaires pour rejoindre une infrastructure rapide, mais également par la localisation et l'orientation de cette infrastructure.

En effet, comme la circuité renvoie aux chemins entre un nœud donné et tous les autres nœuds, les premiers arcs vont avoir une influence majeure sur les

résultats. Si, pour atteindre la majorité des nœuds à partir d'un nœud donné, l'usager doit systématiquement rejoindre une infrastructure rapide située à l'opposé de sa destination, le poids des enchaînements d'arcs sera nécessairement élevé.

Cependant, si ce poids va influencer sur les valeurs obtenues lors du calcul de la circuité globale il convient de garder en mémoire que celles-ci résultent de la **combinaison** des effets des deux facteurs, **sinuosité** et **enchaînement d'arcs**, et donc, que l'un est susceptible de contrebalancer, au moins partiellement, les effets de l'autre.

Comparaison entre les logiques temporelles et kilométriques

Ayant, ci-dessus, montré la manière d'étudier séparément chacune des deux logiques, kilométrique et temporelle, il est à présent intéressant de pouvoir les comparer directement notamment pour répondre à des questions du type :

- quels sont les nœuds à partir desquels la minimisation des temps de trajet à destination de tous les autres nœuds sera guère plus contraignante que les déplacements optimaux en kilomètres ?
- ou, au contraire, quels sont ceux à partir desquels les détours supplémentaires occasionnés par le changement de logique seront les plus contraignants ?

Pour répondre à ces questions, il convient de comparer :

- les longueurs kilométriques des écarts par les réseaux calculés en minutes ($l_1 = l_{km}(e_{min})$),
- et les longueurs des écarts par les réseaux calculés en kilomètres ($l_2 = e_{km}$).

Le degré de circuité obtenu ici ($Ci(e_{min} - e_{km})$) traduit ainsi, pour une origine donnée, l'importance du **détour moyen supplémentaire** que devra effectuer un usager souhaitant **minimiser son temps de trajet** à destination de tous les autres nœuds, **par rapport à un usager empruntant systématiquement les chemins les plus courts en kilomètres**.

APPLICATION À L'ACHÈVEMENT DE L'A 20 ET DE L'A 51

Les objectifs de l'application

L'application présentée ici répond à trois objectifs. Tout d'abord, celui d'étudier, à l'aide des indicateurs de circuité, l'importance des détours imposés, en France, aux automobilistes, par la structure des **réseaux routiers**

et autoroutier par rapport à un schéma idéal de type vol d'oiseau. Les deux logiques de déplacement évoquées lors de la présentation des indicateurs de circuité seront prises en compte, à savoir, la minimisation des longueurs kilométriques et celle des temps de parcours.

Ensuite, nous dégagerons l'importance respective de chacun des deux facteurs intervenant dans ces détours, à savoir la sinuosité des voies et les enchaînements d'arcs. Ce travail prend tout son intérêt dans le cadre de la logique de **minimisation du kilométrage** à parcourir.

En ce qui concerne la logique temporelle, les effets liés à la sinuosité des voies sont apparus négligeables par rapport à ceux inhérents aux enchaînements d'arcs. Cette observation s'explique par la faible sinuosité des infrastructures rapides préférentiellement empruntées dans cette seconde logique. De ce fait, seule la circuité globale sera cartographiée dans la logique temporelle de déplacement.

Enfin, nous entendons illustrer la façon dont la circuité peut intervenir dans l'évaluation de projets d'aménagement. Pour se faire, les répercussions nodales de l'achèvement des autoroutes A 20 et A 51 sur la circuité temporelle globale seront étudiées.

Le choix de la logique de **minimisation des temps de parcours** qui sera retenue ici s'explique par le peu de conséquences de tels projets sur la "circuité kilométrique", et ce en raison de la quasi égalité des longueurs routières actuelles et des nouvelles longueurs autoroutières sur les tronçons concernés par les projets. Il en est différemment dans la logique temporelle puisque l'amélioration de l'offre peut conduire à des changements d'itinéraires, **plus longs** en kilomètres **mais plus rapides**.

L'espace de référence et les paramètres initiaux

L'espace de référence et les paramètres initiaux sont identiques à ceux retenus dans le cadre de l'application précédente, à savoir, 518 sommets, 1666 arcs non orientés et 5 binômes fonctionnels.

Analyse de la circuité actuelle dans la logique kilométrique

L'étude de la circuité actuelle nécessite, dans un premier temps, le calcul de la circuité globale ($Ci_g(e_{km})$). Les résultats sont représentés sous la forme de disques proportionnels et sont regroupés par classes de valeur afin qu'une couleur spécifique puisse être associée à chacune d'elles.

On observe une dichotomie entre les deux tiers Nord de la France, franges bretonnes, alsaciennes et alpines exceptées, peu touchés par les contraintes topographiques (détour moyen faible) et un tiers Sud contraint à des détours

plus importants en raison notamment de la **prégnance du relief** sur la structure des réseaux (Carte 4).

Le poids des premiers arcs des chemins minimaux constitue également une clé fondamentale pour l'interprétation des résultats. En effet, les chemins étant calculés de chaque nœud à l'ensemble des autres nœuds, les liaisons localisées à proximité du nœud en question seront constamment empruntées. Or, si elles imposent des détours importants, ces derniers ne seront pas subis une fois, mais autant de fois qu'il y aura de chemins minimaux qui emprunteront les liaisons en question, c'est-à-dire entre 2 et $n - 1$ fois.

Sur la Carte 4, le cas de Soulac-sur-Mer en Gironde illustre parfaitement ce phénomène puisque pour accéder à une grande moitié Nord de la France, les automobilistes doivent systématiquement contourner l'estuaire de la Garonne, via Bordeaux, puis "remonter" jusqu'aux nœuds de destination⁹. Ce sont donc les premiers arcs des chemins qui expliquent principalement l'importance du décalage existant entre les longueurs kilométriques minimales par les réseaux et les longueurs euclidiennes directes (vol d'oiseau).

Soulac-sur-Mer fait cependant figure d'exception compte tenu de sa localisation géographique particulière. Dans la plupart des autres cas, c'est le relief qui prend une part fondamentale dans l'importance du détour moyen : traversée et/ou contournement des Vosges pour l'Alsace, du Massif central pour un grand quart Sud-Ouest, des Alpes pour un tiers Sud-Est et du Massif armoricain pour la Bretagne.

Dans ce dernier cas, les valeurs élevées observées aux alentours de Brest s'expliquent également par la situation géographique de la pointe Bretagne puisque de nombreuses liaisons euclidiennes directes à destination du Sud-Ouest français "survolent" l'atlantique, comme c'est le cas entre Brest et Bayonne, ce que ne permet évidemment pas le réseau routier. Cette interprétation s'applique également à Cherbourg avec le "survol" de la Manche et à la région de Perpignan avec celui du golfe du Lion.

L'explication de l'importance des détours moyens observés dans la région de Nice renvoie, quant à elle, à deux éléments principaux : la traversée des Alpes et leur contournement par le Sud et l'Ouest. On observe que plus on se rapproche de la frontière italienne, plus le poids des contraintes topographiques sur la structure des déplacements est fort.

⁹ La traversée de l'estuaire par l'intermédiaire du bac n'a volontairement pas été prise en compte.

L'interprétation de cette observation est beaucoup moins simple qu'il n'y paraît puisque l'accroissement du contournement du massif imposé à Menton ne semble pas suffisant pour expliquer les différences de valeur que l'on constate avec des nœuds proches comme Fréjus ou Sainte-Maxime. On peut donc supposer qu'un nombre plus important de trajets optimaux en kilomètres traversent le Sud des Alpes au départ de Menton.

Afin d'affiner l'interprétation il convient d'isoler chacun des deux facteurs intervenant dans ces détours globaux, à savoir la sinuosité des voies pour la traversée des Alpes et les enchaînements d'arcs pour leur contournement. Les résultats sont présentés sur la Carte 5 pour la sinuosité (calcul de $Ci_e(e_{km})$) et sur la Carte 6 pour les enchaînements d'arcs (calcul de $Ci_e,a(e_{km})$).

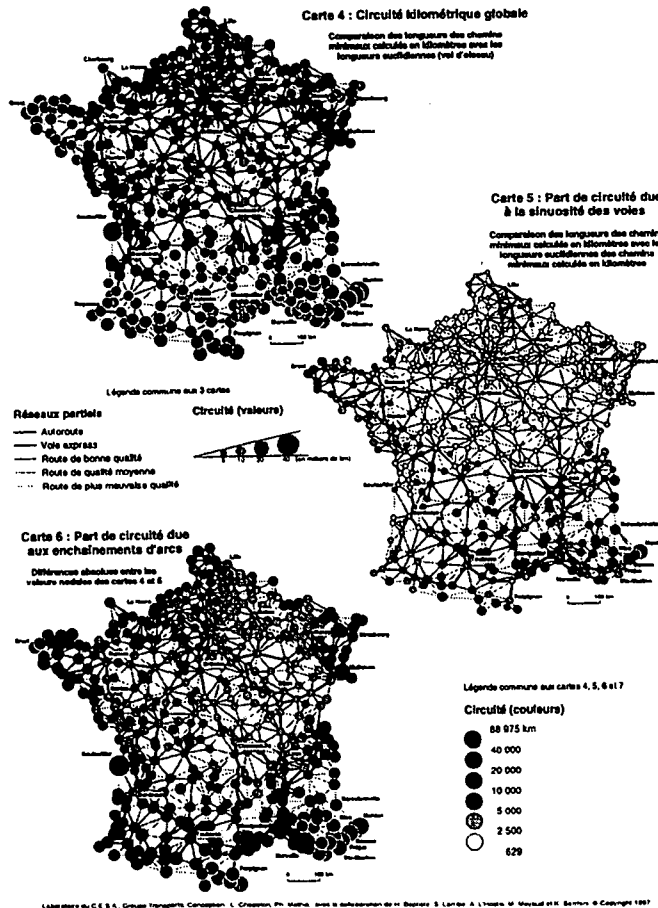
Ces deux dernières cartes permettent de confirmer un certain nombre d'éléments d'explication avancés lors de l'analyse de la Carte 4 et d'en préciser d'autres. Tout d'abord, la valeur élevée de la circuité kilométrique globale de Soulac-sur-Mer s'explique en grande partie, comme on pouvait s'y attendre, par l'importance du poids des enchaînements d'arcs. Ces derniers constituent, en effet, le facteur explicatif majeur pour la totalité des nœuds. En ce qui concerne la sinuosité (Carte 5), elle se fait surtout ressentir lorsqu'un nombre important d'itinéraires optimaux en kilomètres nécessite la traversée, même partielle, d'un massif.

Ceci confirme les explications avancées précédemment pour la pointe Bretagne (Massif armoricain), le Sud-Ouest (Pyrénées et/ou Massif central), le Sud-Est (Alpes et/ou Massif central) et, dans une moindre mesure, l'Alsace (Vosges).

Le cas de Menton, Nice, Cannes et Fréjus est à commenter avec précision au regard des résultats obtenus. Il ressort clairement que plus le nœud d'origine se situe à l'Est, plus les contraintes dues à la sinuosité des voies sont importantes, ce qui signifie qu'un plus grand nombre d'itinéraires optimaux en kilomètres traversent au moins la partie Sud des Alpes. La différence de valeur est particulièrement nette entre Fréjus et Cannes et entre Nice et Menton (Carte 5). Au départ de Menton on peut donc supposer que les premières liaisons alpines empruntent les routes départementales des Alpes-Maritimes en direction de Barcelonnette.

Cette différence de valeur de la sinuosité entre Nice et Menton se retrouve dans l'analyse du poids des enchaînements d'arcs (Carte 6). En effet, même s'il est très élevé pour l'une comme pour l'autre, ce poids est plus important pour Nice que pour Menton, ce qui signifie que, pour cette dernière, il y a une "fuite" plus importante d'itinéraires optimaux par Barcelonnette. Itinéraires qui ne contournent donc pas les Alpes par le Sud.

CIRCUITE ROUTIERE KILOMETRIQUE



Il ressort donc qu'en seulement 31 kilomètres, longueur séparant Nice de Menton, les stratégies de déplacement et donc les itinéraires adoptés en définitive par les automobilistes peuvent être fortement modifiés pour de nombreuses destinations, et ce, dès lors que leur comportement suit la logique étudiée ici. La même observation peut être formulée avec Fréjus et

Cannes puisque cette dernière voit un nombre bien plus important d'itinéraires optimaux en kilomètres emprunter les liaisons alpines (Carte 5) alors que seulement 36 kilomètres séparent les deux villes.

Cependant, les moins bonnes conditions de conduite (sinuosité, pente, etc.) sur ces liaisons alpines, par rapport aux trajets autoroutiers moins sinueux et plus plats, vont inciter nombre d'automobilistes à privilégier la minimisation de leurs temps de parcours. Cette logique, bien que généralement plus coûteuse, s'avère beaucoup plus "confortable". Elle fera ainsi l'objet d'une analyse particulière sur la Carte 7.

Analyse de la circuité actuelle dans la logique temporelle

La Carte 7 résulte du calcul de la circuité temporelle globale ($Ci_g(e_{min})$) à partir de l'état actuel de l'offre routière et autoroutière. Les classes de valeurs et les couleurs qui leurs sont associées sont inchangées par rapport aux trois cartes précédentes, ce qui facilite la comparaison entre les résultats. Seule l'échelle des disques proportionnels a été modifiée pour des questions de lisibilité.

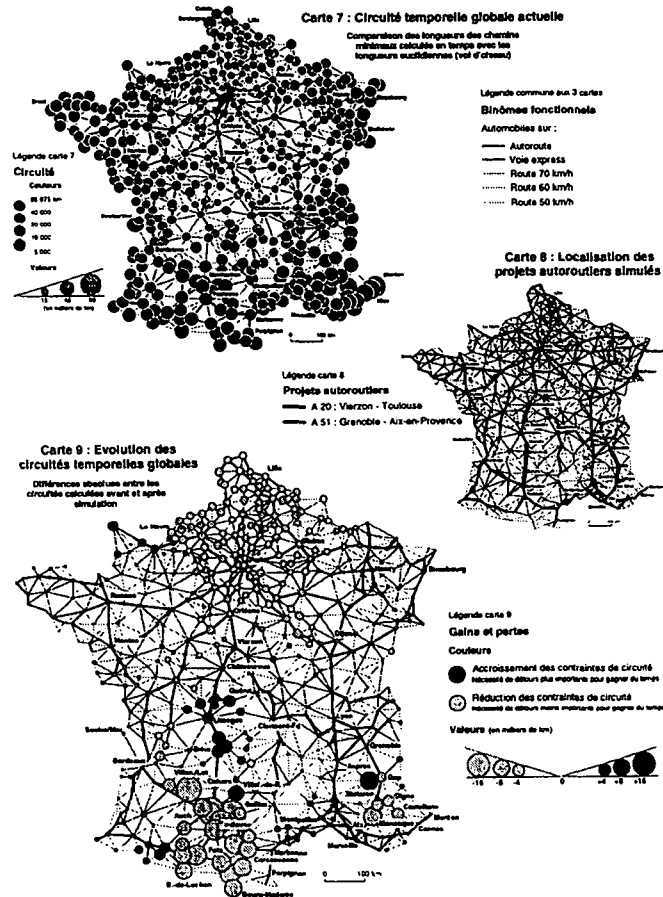
Les résultats obtenus avec cet indicateur accentuent nécessairement le phénomène observé dans le cadre de la circuité kilométrique globale, car la minimisation des temps de trajet impose, dans la plupart des cas, la réalisation de détours qui conduisent à l'accroissement de la longueur kilométrique des déplacements et donc à l'augmentation des différences observées avec la longueur euclidienne.

L'analyse de la Carte 7 montre que si les valeurs obtenues ici sont plus élevées que celles représentées sur la Carte 4, l'agencement des résultats est globalement le même ; avec des valeurs élevées dans un tiers Sud de la France et au niveau des franges, et des valeurs plus faibles dans le reste du pays. Comme nous l'avons déjà fait remarquer, le facteur explicatif dominant est ici constitué par les enchaînements d'arcs. En effet, la prégnance des infrastructures rapides, voies express et surtout autoroutes, dans la réalisation des itinéraires temporels minimaux est très forte, ce qui impose souvent des détours importants par rapport au vol d'oiseau.

L'exemple de la région de Toulouse illustre particulièrement bien ce phénomène. Les valeurs élevées obtenues pour les nœuds de cette région s'expliquent en grande partie par la localisation et l'orientation des autoroutes A 61 et A 62. Ces dernières sont, en effet, utilisées presque systématiquement au départ des nœuds en question et à destination de la grande majorité des autres nœuds puisque aucune solution véritablement performante par le Massif central n'est offerte. Les automobilistes qui souhaitent minimiser leurs temps de déplacement doivent donc, dans la

plupart des cas, passer soit par Bordeaux, soit par Narbonne, ce qui les contraints à des détours bien supérieurs à ceux observés en moyenne sur le territoire national.

ACHEVEMENT DES AUTOROUTES A 20 et A 51



Laboratoire CESA - Groupe Transport - Conception : L. Chapelon, Ph. Traha, avec la collaboration de H. Bégout, S. Létour, A. L'Herminier, M. Nays et al. Synthèse Copyright 1997

Cet axe autoroutier A 61-A 62 possède un rôle structurant très fort au départ des nœuds en question. L'une des conséquences de ce rôle réside dans "l'effet tuyau" qui en découle compte tenu de la forte dépendance des automobilistes vis-à-vis de l'axe autoroutier sur lequel ils se trouvent. Nous étudierons par la suite dans quelle mesure l'achèvement de l'A 20, reliant Toulouse à Vierzon, est susceptible de réduire ces contraintes de circuitry.

Les premiers arcs des chemins jouent, ici aussi, un rôle fondamental pour expliquer certaines valeurs. Par exemple, de nombreux itinéraires optimaux en temps au départ de Boulogne imposent aux automobilistes l'utilisation de l'A 16 jusqu'à Calais situé plus au Nord. Ce premier arc, orienté Sud-Nord, explique en grande partie la valeur de Boulogne, relativement élevée pour la région, car la majorité des trajets à effectuer sont d'orientation Nord-Sud.

Les nœuds les moins touchés par ces contraintes de circuitry sont localisés en Île-de-France, ce qui n'est pas une surprise compte tenu de la densité des infrastructures rapides disponibles dans cette région. En effet, le réseau autoroutier français, structuré en étoile à partir de Paris, permet aux nœuds les plus proches de la capitale de disposer d'un ensemble d'infrastructures rapides quelle que soit l'orientation générale du déplacement, minimisant ainsi les détours dus à l'effet tuyau évoqué précédemment pour Toulouse et sa périphérie immédiate.

Inversement, les zones les plus touchées sont celles pour lesquelles l'existence d'un axe autoroutier performant capte la plupart des itinéraires et contraint à des détours importants. C'est par exemple le cas de l'A 8 et de l'A 9 pour le pourtour méditerranéen, de l'A 4 et de l'A 36 pour l'Alsace.

Les fortes valeurs observées dans les Pyrénées s'expliquent, quant à elles, par la sinuosité des premières liaisons constitutives des chemins, mais surtout par la nécessité de rejoindre les axes rapides ; l'A 9 pour les Pyrénées-Orientales, l'A 61 ou l'A 62 pour l'Ariège et les Hautes-Pyrénées. Liaisons qui, une fois rejointes, occasionneront, à leur tour, des détours importants. La même explication peut être avancée à l'Est pour la frange alpine de la France et la région Rhône-Alpes avec un rabattement quasi systématique sur l'axe rhodanien A 6 - A 7.

Enfin, les valeurs élevées obtenues en Bretagne sont liées à l'absence d'un axe performant orienté Nord-Ouest - Sud-Est, ce qui oblige les automobilistes à contourner le Massif central, soit par Bordeaux et Toulouse, soit par l'Île-de-France et Lyon.

Il ressort donc de la Carte 7 que si l'utilisation des infrastructures rapides assure des gains de temps qui peuvent parfois être très importants, ces derniers sont souvent obtenus au prix d'un allongement considérable de la longueur du trajet, comme c'est le cas dans le Tarn-et-Garonne.

On perçoit ici toute l'importance des indicateurs de circuité pour nuancer certaines conclusions rapides qui pourraient être tirées de la seule analyse des temps de parcours ou des gains de temps procurés par la réalisation d'une infrastructure nouvelle.

Conséquences de l'achèvement de l'A 20 et de l'A 51 sur la circuité temporelle globale

Outre les raisons avancées en introduction, le choix de l'A 20 et de l'A 51 comme objets de l'évaluation à l'aide de la circuité temporelle globale s'explique par les résultats tirés de la Carte 7. En effet, au regard de leur localisation (Carte 8), on peut se demander dans quel mesure chacun des projets simulés est susceptible de réduire les fortes contraintes de circuité supportées par les régions situées entre Bordeaux et Narbonne pour l'A 20, et entre Marseille et Menton pour l'A 51.

Dans le premier cas, le projet renvoie à la **mise au gabarit autoroutier** des deux tronçons de la nationale 20 qui ne le sont pas encore, à savoir Châteauroux - la Croisière et Uzerche - Montauban via Brive-la-Gaillarde et Cahors. La connexion entre la future A 20 et l'A 62 s'opère 12 kilomètres au Sud de Montauban, au lieu-dit Brial. Dans le second cas, cela concerne la réalisation du tronçon autoroutier reliant Grenoble à Sisteron par Gap et du raccordement autoroutier de Digne à cet axe transalpin au niveau de l'échangeur des Mées.

L'évaluation s'opère par différence absolue entre les valeurs nodales de la circuité temporelle globale obtenues respectivement après et avant modification de l'offre.

Un résultats positif témoigne d'un **accroissement** des contraintes de circuité (détours plus importants), alors qu'un résultat **négatif** exprime une **réduction** de ces dernières (détours moins importants).

S'il y a accroissement, cela signifie que pour bénéficier des gains de temps occasionnés par l'utilisation des nouvelles infrastructures autoroutières, les automobilistes seront contraints d'allonger de manière plus ou moins importante la longueur des itinéraires qu'ils empruntent actuellement, et ce, au moins pour une partie des destinations.

Inversement, toute réduction des contraintes de circuité signifie que la modification de l'offre permet, au départ des nœuds concernés et à destination de tout ou partie des autres nœuds, non seulement de gagner du temps (valeur non nulles) mais également de parcourir moins de kilomètres qu'actuellement pour minimiser son temps de parcours (valeurs négatives).

En effet, si la différence absolue n'est pas nulle c'est qu'au moins l'un des itinéraires optimaux en temps a été modifié.

Or, comme la simulation concerne exclusivement l'**amélioration** de l'offre sur des tronçons existants, ces nouveaux itinéraires sont nécessairement plus rapides que ceux empruntés actuellement. La Carte 9 nous permet, en plus, de savoir s'ils sont **globalement plus longs ou moins longs, et dans quel ordre de grandeur.**

Achèvement de l'axe Vierzon - Toulouse : interprétation des résultats

En ce qui concerne l'achèvement de l'A 20, on observe un contraste particulièrement fort entre les résultats se rapportant aux nœuds localisés sur ou à proximité immédiate du nouvel axe autoroutier (accroissement des détours) et ceux relatifs aux nœuds situés à chaque extrémité (réduction des détours). Dans ce dernier cas, c'est l'extrémité Sud de l'axe qui bénéficie le plus fortement de la nouvelle autoroute. Sont, entre autres, concernés, Villeneuve-sur-Lot, Auch, Montauban, Toulouse, Carcassonne, Foix, Bagnères-de-Luchon et Bourg-Madame. Le bénéfice le plus important étant tiré par Gaillac.

Il ressort ainsi clairement que la future A 20 va permettre aux nœuds situés en Ariège, Haute-Garonne, Gers, Tarn, Tarn-et-Garonne ainsi qu'à ceux localisés à l'Est des Hautes-Pyrénées et à l'Ouest de l'Aude et des Pyrénées-Orientales, de ne plus être "prisonniers" de l'A 61 et de l'A 62 pour les itinéraires temporellement optimaux vers le Nord de la France et ainsi de réduire le kilométrage qui correspond à ces chemins. La différence entre les valeurs relatives aux deux extrémités de l'axe Vierzon - Toulouse s'explique également par le nombre plus important de destinations qu'il est possible d'atteindre à partir de cette dernière en empruntant la future A 20.

En ce qui concerne les résultats obtenus entre Vierzon et Cahors, l'interprétation que l'on peut en tirer est proche de celle énoncée à partir de la Carte 7 pour la région de Toulouse. En effet, si la future A 20 est source de gains de temps pour des nœuds comme Brive-la-Gaillarde, Limoges, Guéret ou Villefranche-de-Rouergue, la faible densité des infrastructures rapides dans cette région confère à l'A 20 un rôle de "capteur" de nombreux itinéraires optimaux en temps. La conséquence de ce rôle se traduit sous la forme d'un accroissement des détours et donc d'un allongement du kilométrage global à parcourir. On retrouve l'effet tuyau observé précédemment pour l'axe A 61 - A 62.

Comme nous l'avons déjà fait remarquer, les résultats observés ici sont de nature à nuancer ceux obtenus à partir de la différence absolue entre les seuls écarts temporels (**gains de temps**). En effet, pour les nœuds situés sur ou à proximité immédiate de la future A 20, il y a, certes, gain de temps, mais

l'obtention d'un tel gain impose aux automobilistes un allongement parfois considérable des itinéraires à effectuer.

Pour Villefranche-de-Rouergue, l'accroissement des contraintes de circuité correspond à **plus du quart** de la circuité temporelle globale actuelle, ce qui est considérable. Comparativement, pour Brive-la-Gaillarde l'accroissement est de **plus d'un cinquième**.

Achèvement de l'axe Grenoble – Sisteron : interprétation des résultats

Les répercussions de l'achèvement de l'A 51 en termes de circuité temporelle globale sont, quant à elles, spatialement plus restreintes ; pour les valeurs les plus significatives tout du moins. Le premier constat que l'on peut tirer de la Carte 9 réside dans le peu d'influence du projet sur la circuité temporelle de la Côte d'Azur et de la région Rhône-Alpes. Contrairement à l'A 20, les extrémités ne bénéficient en aucune façon du nouvel axe autoroutier reliant Grenoble à Aix-en-Provence où s'opère la connexion avec l'A 8.

En terme d'interprétation, deux éléments majeurs peuvent être avancés. Éléments qui, rappelons-le, se rapportent à la seule circuité temporelle et qui, évidemment, sont susceptibles d'être nuancés par les résultats issus d'autres indicateurs d'accessibilité.

Le premier concerne la **vocation essentiellement régionale** assignée à l'A 51 compte tenu du faible nombre de destinations desservies à l'Est et au Sud de cette autoroute.

Le second renvoie à son **incapacité à concurrencer l'axe A 8 - A 7** en raison des médiocres conditions d'accès aux échangeurs à partir de la Côte d'Azur¹⁰.

La traversée du Sud des Alpes par voie routière pour rejoindre l'échangeur de Manosque, des Mées ou de Sisteron étant trop coûteuse en temps, le seul nœud d'entrée sur l'axe A 51 qui soit véritablement performant est Aix-en-Provence. Or, compte tenu de sa position trop à l'Ouest, il est, à ce niveau, impossible que l'A 51 puisse concurrencer l'A 7 pour les trajets Sud - Nord. Le même raisonnement peut être appliqué pour la desserte de la Côte d'Azur à partir du Nord. Même si cela reste à démontrer, un raccordement performant entre Cannes et Digne par Castellane, par exemple, pourrait modifier le rôle susceptible d'être joué à l'avenir par l'A 51 achevée ; pour la desserte de la Côte d'Azur tout du moins.

¹⁰ Cet élément d'interprétation pourrait, en particulier, être nuancé par la prise en compte des problèmes de congestion de l'axe rhodanien. Problèmes dont la modélisation constitue actuellement un axe de recherche spécifique du laboratoire du C.E.S.A..

Les répercussions substantielles sont donc à rechercher localement. A ce niveau l'A 51 est plutôt bénéfique en terme de circuité. En effet, Gap, Digne, Castellane, Manosque et l'échangeur des Mées voient leur circuité temporelle globale diminuer, ce qui signifie que les gains de temps occasionnés par l'A 51 sur certaines relations s'accompagnent également d'une réduction du kilométrage à parcourir.

Si l'on étudie le cas de Manosque, les itinéraires optimaux actuels imposent quasi systématiquement de rejoindre l'A 8 à hauteur d'Aix-en-Provence, alors qu'une fois l'A 51 achevée, l'accès aux destinations localisées dans une grande moitié Nord de la France s'opérera par Gap et Grenoble, ce qui réduira les détours occasionnés.

Localement, Aspres-sur-Buëch est le seul nœud véritablement pénalisé en ce qui concerne le kilométrage. A partir de ce nœud il semble actuellement préférable de rejoindre l'A 7 par voie routière pour nombre de destinations. Or, la plupart des nouveaux itinéraires optimaux en temps après achèvement de l'A 51 imposeront un rabatement sur Gap afin d'emprunter la nouvelle autoroute soit vers Grenoble, pour rejoindre les nœuds situés au Nord, soit vers Sisteron à destination du Sud-Est.

De plus nous avons montré précédemment l'importance du premier arc dans l'interprétation des résultats issus des différents indices de circuité. Aspres-sur-Buëch en est un nouvel exemple puisque la liaison avec Gap est orientée Ouest-Est alors que la plupart des destinations sont localisées à l'Ouest.

L'utilisation des indicateurs de circuité dans l'évaluation spatio-temporelle de projets est très importante, notamment pour nuancer les résultats relatifs aux seuls écarts temporels. En effet, certains gains de temps ne pourront être obtenus qu'au prix de détours considérables, ce qui témoigne d'une **inadaptation manifeste de l'offre** pour les nœuds concernés.

Ces derniers, parmi lesquels on retrouve Aspres-sur-Buëch, ont, en effet, une mauvaise accessibilité temporelle puisqu'un accroissement du kilométrage leur permet tout de même de bénéficier des gains de temps procurés par une infrastructure qui ne les concernent pas directement.

Il convient cependant de bien cerner les limites de ces indicateurs de circuité. En effet, la logique de minimisation du temps de parcours fait que l'on peut basculer d'un itinéraire à un autre et donc, dans de nombreux cas, accroître notablement les détours mesurés par l'indicateur, alors que le gain de temps offert par le nouvel itinéraire n'est que d'une minute !

Ceci milite en faveur de la pluralité et de la complémentarité des indicateurs d'accessibilité lors des processus d'évaluation. C'est dans cet esprit qu'à été développé le logiciel NOD.

ANALYSE DE LA STRUCTURE DES ITINÉRAIRES OPTIMAUX

Les interprétations tirées des résultats précédents font très largement appel à des considérations relatives aux **cheminements** (traversée ou contournement de massifs montagneux, utilisation d'un axe autoroutier privilégié, etc.), sans que ces cheminements soient identifiés avec précision.

Pour ce faire, il convient de faire appel à la seconde famille d'indicateurs mentionnée en introduction à savoir celle se rapportant à l'**analyse de la structure des itinéraires optimaux**. Indicateurs qui s'inscrivent donc en complément des indicateurs de circuité en permettant non seulement d'**affiner certains éléments d'interprétation**, mais également en apportant des **informations nouvelles** quant à la **performance des itinéraires**. C'est ce que nous entendons illustrer ici à partir du projet d'achèvement de l'A 75.

Le calcul des indicateurs intervenant dans le cadre de l'analyse de la structure des itinéraires optimaux consiste à **comptabiliser le nombre de chemins empruntant chacun des arcs** et à **associer la valeur** ainsi obtenue à l'**arc en question**. Travaillant dans une **logique d'offre**, les quantités reportées sur les arcs **ne peuvent être assimilées à des flux**. Il est ici question d'améliorer la connaissance que les indicateurs nodaux nous donnent de l'offre **indépendamment du niveau de la demande**.

CALCUL DU NOMBRE D'ITINÉRAIRES OPTIMAUX PAR ARC

Indicateur unipolaire

Dans un contexte unipolaire, il convient de reconstituer les itinéraires optimaux entre un sommet donné et l'ensemble des autres sommets du graphe et à comptabiliser le nombre de fois où chaque arc minimal est utilisé. Pour ce faire, on "déroule" progressivement chacun des chemins, de la destination b vers l'origine a , à l'aide de la matrice des précédents implémentée lors du calcul des chemins. A chaque nouveau précédent, on ajoute 1 à l'arc dont il constitue l'extrémité manquante.

Cet arc minimal, comme tous les autres, est contenu dans un vecteur, appelé $Compt_{ti}$, qui fait office de compteur. C'est à partir de lui que seront produits les fichiers nécessaires à l'élaboration des cartes. Cartes pour lesquelles l'**épaisseur des arcs est proportionnelle à la valeur finale donnée par le compteur**.

Un autre moyen d'interpréter les résultats consiste à dire que si $n-1$ individus présents en un nœud donné, décidaient de se rendre chacun en un nœud différent par le plus court chemin en kilomètres ou en minutes,

l'indicateur permettrait de calculer, pour chaque arc, le nombre d'individus qui l'utiliserait.

Indicateur multipolaire

L'obtention de cet indicateur généralisé, appelé Iti_g , procède du même exercice que dans un contexte unipolaire à la différence qu'on ne boucle plus seulement sur la destination, mais également sur l'origine. En effet, il s'agit de reconstituer ici la totalité des plus courts chemins, c'est-à-dire les chemins de tout nœud à tout autre.

Cet indicateur renvoie à la structure globale d'utilisation potentielle optimale de l'offre de transport dans un contexte de rationalisation de la logique de déplacement.

APPLICATION À L'ACHÈVEMENT DE L'A 75

L'objet de l'application

Nous entendons analyser, dans un premier temps, la structure des itinéraires optimaux en temps **au départ ou à destination de l'extrémité Sud de la France, avant** (état actuel) et **après achèvement de l'A 75** reliant Clermont-Ferrand à Béziers et Montpellier. L'enjeu de ce travail est, dans un deuxième temps, d'apporter des éléments de réponse relatifs à l'offre quant à la pertinence de ce projet en termes de **report potentiel de flux** sur cet axe traversant le Massif central.

Afin d'analyser correctement la structure de ces relations Nord-Sud, nous raisonnerons dans un **contexte unipolaire**. La localisation de **Perpignan** nous a, en outre, incité à le retenir comme nœud d'origine des chemins. De plus, le projet simulé étant un projet autoroutier, nous nous placerons dans une logique de **minimisation des temps** de parcours. Les écarts sous-tendant la récupération des itinéraires sont donc calculés en minutes.

L'espace de référence et les paramètres initiaux

La présente application repose sur le même espace de référence que précédemment. Le nombre de sommets retenus (508) et le nombre d'arcs (1633) sont cependant légèrement inférieurs à ceux du graphe relatif à la précédente application. Les binômes fonctionnels et les vitesses moyennes qui leurs sont associées sont, quant à eux, inchangés.

Structure des itinéraires optimaux Sud-Nord actuels

Dans le contexte unipolaire qui est le nôtre et au regard du nombre de nœuds retenus, 507 itinéraires ($n - 1$) ont été reconstitués. Tous sont représentés. Huit classes distinctes permettent de hiérarchiser les voies en fonction du nombre d'itinéraires minimaux qui les empruntent. Les couleurs des binômes fonctionnels ont été conservées, ce qui permet de savoir immédiatement sur quel type de réseau partiel infrastructurel circulent les véhicules.

La Carte 10, relative à l'état actuel des cheminements temporels, montre le rôle prépondérant de l'axe autoroutier rhodanien pour la desserte du Nord, de l'Est et du Sud-Est de la France. Depuis Perpignan, l'accès au Havre, à Paris ou à Lille se fait par cet axe A 9 - A 7 - A 6 via Lyon et Beaune.

En ce qui concerne ce dernier nœud, sa position stratégique lui confère un rôle fondamental puisqu'il est le lieu de bifurcation (ou de convergence) depuis (ou vers) l'axe rhodanien des itinéraires optimaux à destination (ou à l'origine) de l'Alsace (A 36), de la Lorraine (A 31), de Champagne-Ardenne (A 31 - A 5 - A 26), de la Haute et Basse-Normandie, du Nord et de l'Ile-de-France (A 6). C'est ce qui explique que le tronçon autoroutier entre Perpignan et Beaune est celui qui admet le plus grand nombre d'itinéraires optimaux.

Même s'il ne s'agit pas, rappelons-le, de flux, il est à noter que la Carte 10 fournit cependant une bonne approximation de la réalité des déplacements Nord-Sud avec un fort trafic entre Beaune et Orange et, dans une moindre mesure, entre Beaune et Paris.

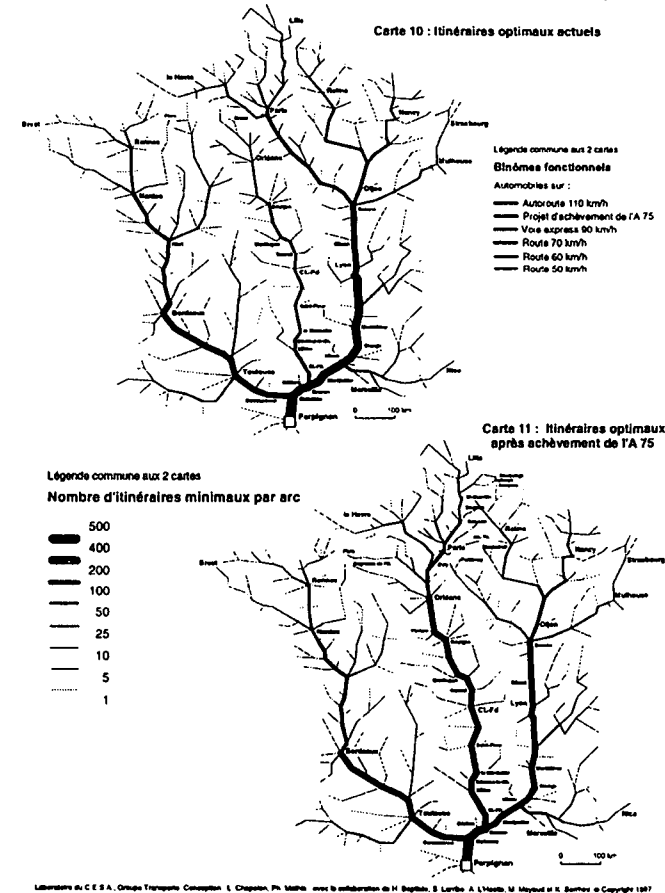
L'accès optimal à la façade Ouest s'opère par connexion sur un axe Narbonne - Toulouse - Bordeaux - Niort - Nantes - Rennes. Les branches secondaires venant se connecter à hauteur ou à proximité de ces villes. Bien que de moindre importance que l'axe rhodanien, la relation Narbonne - Bordeaux est incontournable pour les trajets optimaux à destination de l'Ouest français. Cet itinéraire Ouest ne permet cependant pas de concurrencer l'axe rhodanien pour les trajets vers la capitale.

En ce qui concerne l'axe Millau - Saint-Flour - Clermont-Ferrand, il ne fait office que de ramification secondaire, mais l'état d'avancement actuel des travaux de l'A 75 lui confère, néanmoins, une extension Nord non négligeable. S'il est, en effet, préférable d'emprunter cet axe pour se rendre à Orléans ou à Dreux, il ne concurrence cependant que faiblement l'axe rhodanien puisque ni Paris, ni le Havre¹¹ ne peuvent être atteints de manière optimale par le Massif central.

¹¹ Et encore moins les nœuds situés au Nord et à l'Est de ces deux villes.

ACHEVEMENT DE L'A 75 CLERMONT-BEZIERS

Analyse de la structure des itinéraires optimaux en temps au départ de Perpignan



Il ressort donc qu'en termes d'itinéraires optimaux Nord-Sud, l'axe A 71 - A 75 ne paraît pas en mesure de jouer, dans sa configuration actuelle, le rôle d'itinéraire de délestage de l'axe rhodanien que les pouvoirs publics entendent lui faire jouer. Qu'en sera-t-il une fois l'A 75 achevée ?

Structure des itinéraires optimaux Sud-Nord après achèvement de l'A 75

La simulation opérée sur le graphe d'origine renvoie à la mise en configuration autoroutière du tronçon routier Nord-Sud entre le Monastier et l'échangeur autoroutier de Bessan, à l'Est de Béziers, via Sévérac-le-Château, Millau, Clermont-l'Hérault et Pézenas (Carte 11). Afin d'améliorer l'accès à l'A 75 à partir de l'axe rhodanien, le recalibrage de la nationale 109, qui relie actuellement Clermont-l'Hérault et MontPELLIER en configuration de type voie express, a également été simulé.

Le même indicateur que celui appliqué à l'état actuel de l'offre est calculé ici. Les résultats présentés sur la Carte 11 montrent une modification de la structure arborescente actuelle due essentiellement à l'extension Nord de la "branche Massif central". En effet, l'amélioration de la performance de l'A 75 se répercute sur l'A 71 puis sur l'A 10 plus au Nord, pour, en définitive, rendre cet axe plus performant que l'axe rhodanien pour des déplacements Sud-Nord vers Paris, le Havre ou Lille. Ce qui, compte tenu de la position géographique des nœuds, semble plus logique.

Si la limite de partage des itinéraires optimaux entre ces deux axes est bien nette jusqu'à Paris, elle est plus confuse entre Paris et Lille. Château-Thierry, Soisson, Tergnier, Aulnoye-Aymeries et Maubeuge étant accessibles de manière optimale par l'axe Massif central alors que Evry, Fontenay-Trésigny, Montmirail, Saint-Quentin et Avesnes l'étant par l'axe rhodanien.

Dans l'Ouest les modifications sont moins marquées. L'A 75 achevée ne gagne que peu d'itinéraires à la liaison Vierzon - Châteauroux - Toulouse qui deviendra la future A 20. Son influence est cependant plus nette en Basse Normandie puisque des itinéraires optimaux qui nécessitent actuellement de passer par Bordeaux, emprunteront, à l'avenir, l'axe Massif central. C'est notamment le cas pour accéder à Flers et à Bagnoles-de-l'Orne.

Il ressort clairement de l'analyse de la Carte 11 que l'achèvement de l'A 75 est susceptible d'entraîner, **potentiellement tout du moins**, des modifications importantes de la structure des déplacements. Même si, rappelons-le, les résultats présentés ici ne peuvent être interprétés en terme de report de trafic, ils permettent cependant de conclure à un **rééquilibrage manifeste de la performance de l'offre entre l'axe Massif central et l'axe rhodanien**. En effet, la nouvelle structure arborescente obtenue après simulation montre un **rééquilibrage du nombre d'itinéraires optimaux Nord-Sud** entre les deux axes.

Si ces résultats mériteraient, dans un autre contexte, d'être complétés par ceux découlant d'un modèle de trafic, ils fournissent un **premier élément de**

réponse positif quant à la question de la capacité éventuelle de l'axe Massif central complet à juguler la saturation progressive de l'axe rhodanien.

CONCLUSION

Le rôle et l'importance des calculs d'accessibilité dans les processus d'évaluation de projets autoroutiers n'est aujourd'hui plus à démontrer. Paradoxalement, il n'existe que peu d'outils à vocation prospective susceptibles d'appréhender avec précision les différents aspects de ce concept d'accessibilité. C'est cette **diversité**, cette **complémentarité** des indicateurs d'accessibilité que nous avons voulu intégrer au logiciel NOD. L'intérêt étant d'aller plus loin que le simple calcul des gains ou pertes de temps opéré classiquement dans nombre d'études préalables à la réalisation de projets.

C'est dans ce cadre que se sont inscrits nos travaux sur la circuité et sur l'analyse de la structure des itinéraires optimaux. La généralisation du degré de circuité de KANSKY offre des potentialités nouvelles en termes d'interprétation des détours moyens globaux puisqu'il est possible d'isoler l'importance de la sinuosité des voies et celle des enchaînements d'arcs.

L'intérêt majeur des indicateurs de circuité est de montrer l'influence de contraintes topographiques, foncières, historiques voire politiques, à partir de données se rapportant exclusivement aux réseaux de transport étudiés.

En effet, les contraintes évoquées ci-dessus sont à l'origine de la structure des réseaux de transport que l'on connaît actuellement. Or, c'est cette structure qui va conditionner les valeurs des indicateurs de circuité calculés par NOD.

Si le calcul de ces indicateurs fait appel à la détermination des plus courts chemins, seules les valeurs de ces derniers sont utilisées. On ne connaît donc pas la configuration exacte des itinéraires optimaux ce qui limite, dans certains cas, la richesse de l'interprétation. C'est pour dépasser cette limite qu'un module spécifique d'analyse des itinéraires optimaux a été développé. Pour chaque couple origine - destination sont déterminés : la succession des tronçons empruntés par l'itinéraire optimal, les caractéristiques techniques de chacun et le temps nécessaire pour le parcourir.

Ainsi, c'est sur la **recherche d'une plus grande complémentarité entre les indicateurs d'accessibilité** que doivent porter les efforts actuels relatifs aux méthodes d'évaluation spatiale et temporelle de projets d'aménagement concernant le domaine des transports. C'est en fournissant aux décideurs des

résultats concrets, précis et pertinents que pourra être menée une réelle confrontation avec les autres critères d'évaluation, économiques et environnementaux notamment.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AURAY J.P., MATHIS Ph. (1994) Analyse spatiale et théorie des graphes. In J.P. AURAY, A. BAILLY, P.-H. DERYCKE, J.-M. HURIOT (dir.), **Encyclopédie d'économie spatiale : concepts, comportements, organisations**. Paris, Economica, pp. 81-91.

BAVELAS A. (1950) Communication patterns in task oriented groups. **J. acoust. Soc. Amer.**, 22, pp. 725-730.

BERGE C. (1983) **Graphes**. Paris, Gauthier-Villars (3^e éd. ; Collection μ).

CHAPELON L. (1996) Modélisation multi-échelles des réseaux de transport : vers une plus grande précision des accessibilités temporelles. **Mappemonde**, n° 3.

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, Tours.

CHAPELON L. (1998) L'accessibilité aux grandes infrastructures de transport : analyse et modélisation. In **Nouvelles approches en Géographie théorique et quantitative** (Actes des Troisièmes Rencontres de Théo Quant, tenues à Besançon les 20 et 21 février 1997). Besançon, THEMA CNRS (à paraître).

COMMISSAIRE AU PLAN (prés.) (1992) **Transports 2010**. Paris, La Documentation Française.

DUPUY G. (1985) **Systèmes, réseaux et territoires : principes de réseautique territoriale**. Paris, Presses de l'ENPC.

HARARY F., NORMAN R. Z., CARTWRIGHT D. (1968) **Introduction à la théorie des graphes orientés**. Paris, Dunod.

KANSKY K. (1989) Measures of network structure. **Flux**, n° spécial, pp. 93-121.

LANTNER R. (1974) **Théorie de la dominance économique**. Paris, Dunod.

MINOUX M., BARTNIK G. (1986) **Graphes, algorithmes, logiciels**. Paris, Dunod.

Accessibilité aux activités vacantes et surplus des consommateurs de transport

Résumé

Afin de mesurer l'utilité économique du transport dans un territoire, nous proposons un nouveau modèle du choix de destination, nommé AVA pour Accessibilité aux Activités Vacantes. Le modèle AVA représente les activités possibles dans les zones desservies, ainsi que leurs valeurs brutes objectives pour des clients potentiels. Il explicite l'occupation des activités par les clients : un client marginal n'accède au mieux qu'à la meilleure activité vacante. Ainsi le surplus des consommateurs d'activité et de transport apparaît de façon claire et rigoureuse.

L'article traite d'abord un marché local des activités, puis le cas à deux zones de destination. Dans la troisième partie, nous comparons AVA aux modèles antérieurs de distribution spatiale.

Introduction

Définitions. On appelle distribution spatiale des déplacements entre des zones d'origine et de destination le partage des déplacements émis par les zones d'origine, entre les zones de destination. En général les zones d'origine et de destination se rapportent à un territoire spécifique qu'elles découpent en petites parties, relativement homogènes par rapport au réseau de transport.

L'appariement d'une zone d'origine et d'une zone de destination constitue une relation origine-destination (O-D) : ce concept fondamental permet de rattacher le trafic aux lieux d'émission et réception des déplacements. Une matrice des flux O-D regroupe les flux de déplacements pour un ensemble de relations O-D : par exemple les tableaux d'importations et exportations entre régions ou pays.

Enjeux. Tout planificateur des transports s'intéresse à la distribution spatiale à deux titres. Primo connaître la clientèle locale, savoir d'où viennent et où vont les déplacements qui passent en un point du réseau : cela nécessite de connaître non seulement les lieux d'émission et réception, mais encore les itinéraires suivis sur le réseau.

Secundo évaluer l'utilité du système de transport, qui sert à relier des lieux distants. Le mouvement des personnes et des biens permet de combiner les activités locales, d'exploiter les qualités propres de chaque lieu au service de l'ensemble ; donc l'utilité économique du transport réside principalement dans la valeur économique des activités desservies, rendues accessibles.

Ces deux enjeux pratiques constituent tout l'intérêt d'une **connaissance de la distribution spatiale**, tant empirique que théorique. La connaissance empirique correspond à la **mesure** des flux O-D : ainsi les enquêtes aux relations O-D, par interception des déplacements en

divers points du réseau et enquête de leurs lieux de départ et d'arrivée. Ces mesures sont difficiles et coûteuses ; en pratique elles demeurent fragmentaires et ne donnent qu'une image approchée de la matrice O-D observée. Il existe plusieurs modèles empiriques pour reconstituer une image de la matrice O-D à partir d'observations fragmentaires : le modèle entropique est le plus connu et le plus simple d'emploi.

La connaissance théorique réside dans l'**explicitation** des flux O-D par des mécanismes économiques. Elle explicite les acteurs économiques que sont les auteurs de déplacement et les opérateurs de transport. Elle explique leurs comportements en les formalisant comme des choix économiques justifiés par la recherche d'un meilleur profit ou surplus individuel. La connaissance théorique s'exprime naturellement dans des modèles économiques, dans lesquels les flux O-D de déplacements résultent des qualités respectives des zones et des conditions de transport entre zones. Parmi les modèles théoriques de distribution spatiale, les plus importants sont, dans l'ordre d'ancienneté : le modèle gravitaire, le modèle de choix discret entre zones de destination et le modèle de choix entre activités individuelles.

Le modèle gravitaire repose sur une analogie avec la loi newtonienne de l'attraction des corps en mécanique : les origines et les destinations s'attirent mutuellement, chaque flux O-D est une fonction croissante des masses locales mesurées par des nombres d'habitants ou d'emplois, et une fonction décroissante de l'impédance du transport (prix, temps, souvent englobés dans un coût généralisé).

Le modèle de choix discret entre zones suppose que chaque zone de destination offre une certaine utilité à tout client situé dans sa zone d'origine : chaque client choisit la destination dont l'utilité zonale est maximale. Le progrès sur le modèle gravitaire réside évidemment dans l'explicitation des valeurs économiques associées aux zones. Cependant l'utilité d'une zone est une notion très agrégée, simpliste, difficile à justifier plus en profondeur.

Enfin le modèle de choix entre activités individuelles explicite les activités possibles dans les destinations, ainsi que leurs valeurs individuelles : alors le choix entre zones de destination résulte du choix d'activité puisque chaque activité est localisée.

Objectif. Cet article propose et développe un nouveau modèle économique de choix entre activités individuelles, appelé AVA pour Accessibilité aux Activités Vacantes. Le modèle AVA représente les activités possibles dans les zones desservies, ainsi que leurs valeurs brutes objectives pour des clients potentiels. Il explicite l'occupation des activités par les clients : un client marginal n'accède au mieux qu'à la meilleure activité vacante. Dans AVA le surplus des consommateurs d'activité et de transport, utile au calcul économique, apparaît sous une forme claire et rigoureuse.

Simple d'emploi, le modèle AVA peut avantageusement remplacer les modèles antérieurs qui négligent la valeur objective et l'occupation des activités : en particulier le modèle dû à Koenig (1974) et Cochrane (1975), dans lequel les activités ont des utilités aléatoires indépendantes et identiquement distribuées, et tel qu'une activité servie à un client reste disponible pour d'autres demandes.

Structure et contenu. Le corps de l'article se compose de trois parties. La première porte sur le marché local des activités, avec un coût de transport unique : nous exposons les hypothèses relatives à l'offre d'activités, à la demande d'activités et de transport, au marché local des activités et à son équilibre. La deuxième partie ajoute la concurrence entre lieux, avec deux zones de destination donc deux marchés locaux et deux coûts de transport : nous décrivons les situations possibles et nous les caractérisons comme la solution d'un programme d'optimisation dont la fonction objectif représente le surplus net des clients d'activité. Dans la troisième partie, nous comparons le modèle AVA aux autres modèles de distribution,

particulièrement au modèle de Koenig et Cochrane : les différences sont profondes, mais masquées par l'emploi d'un vocabulaire commun.

Le modèle s'étend au cas général avec un nombre quelconque d'origines et de destinations, à la demande variable etc. : les extensions font l'objet d'autres articles (Leurent, 1999).

1 Hypothèses économiques

Dans cette partie nous considérons les activités situées dans une même zone de destination ; elles forment un marché local des activités. Nous présentons les hypothèses relatives à l'offre d'activité, puis à la demande d'activité et enfin à la rencontre entre offre et demande.

1A L'offre d'activité

Effectif et distribution des valeurs brutes. Nous supposons qu'en un lieu donné d il existe un ensemble d'activités de nature identique et suffisamment nombreuses : par exemple les emplois dans une zone. Soit A_d l'effectif de cet ensemble, le nombre d'activités offertes dans la zone d . L'effectif A_d dépend évidemment de la nature d'activité, également appelée motif d'activité.

Sur un marché économique standard, les biens sont offerts à un certain prix, ou plus précisément chaque variante d'un bien se distingue par des qualités spécifiques et un prix spécifique. A qualité égale, un client rationnel préfère une variante de prix minimum. Dans le cas des activités, à chacune d'elles nous associons une valeur spécifique plutôt qu'un prix spécifique ; cela permet de traiter de façon unique aussi bien les activités pour lesquelles le client accepte de payer (ex. loisir), que celles pour lesquelles il reçoit un paiement (ex. travail).

Sous forme mathématique, nous notons k une activité et v_k sa valeur spécifique. Nous supposons encore que la valeur spécifique d'une activité est objective, i.e. identique pour tous les clients : nous l'appelons également valeur brute de l'activité car elle ne prend pas en compte le coût de transport et d'accès.

Comme les activités sont suffisamment nombreuses, nous les traitons de manière statistique, en privilégiant la valeur brute. Nous les décrivons uniquement par l'effectif A_d et par la fonction de répartition cumulée H_d qui, à chaque valeur brute v , associe la proportion des activités dont la valeur brute est inférieure ou égale à v . Formellement, cela s'exprime $H_d(v) = \Pr(k; v_k \leq v)$. Alors le nombre d'activités en zone d dont la valeur brute dépasse strictement v est $A_d(1 - H_d(v))$.

Comportement de l'offre. Dans AVA nous supposons que les structures de l'offre d'activité ne varient pas : l'effectif et la répartition dans une zone restent constants. Cependant l'occupation de l'offre peut varier en fonction du nombre de clients : nous supposons que chaque activité offerte peut satisfaire un seul client. Donc le nombre d'activités servies se confond avec le nombre de clients servis. Pour la zone d , nous notons T_d le nombre d'activités servies, naturellement contraint par $0 \leq T_d \leq A_d$.

1B La demande d'activité

Nous définissons la demande d'activité comme l'ensemble des consommateurs potentiels. Un consommateur potentiel qui occupe une activité est un consommateur servi, encore appelé client servi.

Valeur nette d'une activité. En tant que bien économique, une activité présente deux spécificités. Primo nous considérons la valeur brute plutôt que le prix, afin de traiter de façon unique tous les motifs. Secundo l'activité s'exerce dans un lieu spécifique, le plus souvent distant du lieu d'origine du client : celui-ci doit se déplacer pour accéder à l'activité, autrement dit il consomme du transport en complément à sa consommation d'activité. A la consommation de transport correspond un coût (prix, temps, ou plus largement coût généralisé), qui réduit la valeur brute de l'activité. Pour le client situé en zone o , seule compte la valeur nette $u_k(o)$ de l'activité k , égale à la différence entre la valeur brute v_k et le coût de transport G_{od} entre l'origine et la zone d'activité d . Formellement, $u_k(o) = v_k - G_{od}$.

Comportement de la demande. Dans AVA nous supposons que chaque consommateur potentiel d'activité est un acteur économique rationnel, qui choisit l'activité qu'il préfère parmi celles disponibles, vacantes. Nous représentons les préférences grâce aux utilités nettes. Le client préfère une activité k à une activité k' s'il retire de k une valeur nette supérieure à celle de k' , i.e. si $u_k(o) \geq u_{k'}(o)$. Au total, chaque client choisit l'activité vacante de valeur nette maximale.

Volume de demande. A chaque zone d'origine o nous associons le nombre X_o de clients originaires de o et servis en activité. En l'absence d'autre précision nous considérons que le volume X_o est fixe, mais le modèle s'étend aisément à la demande élastique, avec un volume X_o variable.

1C Le marché, rencontre entre offre et demande

Le marché des activités consiste en l'ajustement mutuel de l'offre et de la demande. Faisons provisoirement abstraction du coût de transport et considérons un nombre T_d de clients servis dans une zone d'activité d . Si chacun d'eux choisit la meilleure valeur nette vacante, alors toute activité occupée a une valeur brute supérieure à celles des activités vacantes, sans quoi un client pourrait changer d'activité et améliorer la valeur nette qu'il retire.

Donc les T_d clients servis en zone d correspondent aux T_d activités de plus forte valeur brute, celles qui dépassent la valeur limite \tilde{v}_d telle que $A_d(1 - H_d(\tilde{v}_d)) = T_d$.

En ajoutant une hypothèse technique¹, l'état du marché local des activités se caractérise de deux manières équivalentes, par la quantité servie T_d ou par la valeur optimale des activités vacantes \tilde{v}_d . Les deux variables sont liées par la relation $A_d(1 - H_d(\tilde{v}_d)) = T_d$ qui équivaut à $\tilde{v}_d = H_d^{-1}(1 - T_d / A_d)$ pour $0 < T_d < A_d$.

¹ A savoir que la valeur inférieure des activités servies se confond avec la valeur supérieure des activités vacantes lorsque les deux notions ont un sens : i.e. la fonction H_d^{-1} est continue sur]0, 1[.

Lorsque $T_d = A_d$ il ne reste plus aucune activité vacante dans la zone, donc \tilde{v}_d signifie seulement la valeur inférieure des activités servies. Lorsque $T_d = 0$ alors il n'y a pas d'activité servie donc \tilde{v}_d signifie seulement la valeur supérieure des activités vacantes.

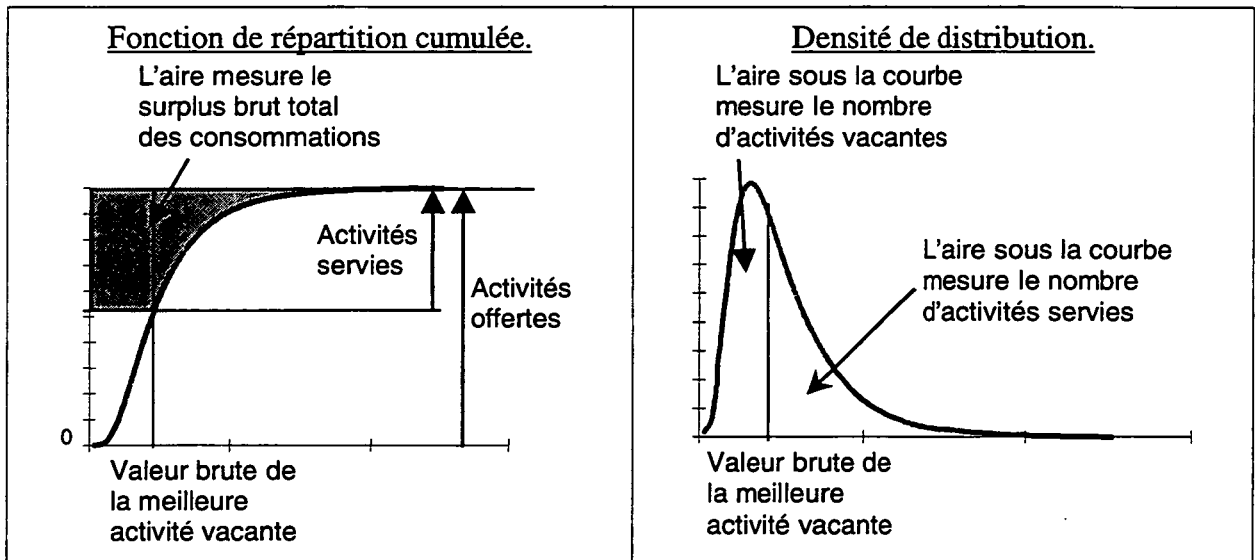
L'interprétation économique des variables T_d et \tilde{v}_d permet de calculer le *surplus brut* des consommateurs d'activité dans la zone d . Par définition, le surplus brut est la somme des valeurs brutes retirées : donc, en notant $R_d(x) = \int_x^1 H_d^{-1}(\alpha) d\alpha$,

$$SB_d = A_d \int_{\tilde{v}_d}^{\infty} v dH_d(v) = A_d \int_{1-T_d/A_d}^1 H_d^{-1}(\alpha) d\alpha = A_d R_d(1 - T_d / A_d).$$

Le *surplus net* est la différence entre le surplus brut et les coûts de transport : si tous les clients supportent un coût de transport identique G_d alors $SN_d = SB_d - T_d G_d$.

Le surplus brut comme le surplus net concernent uniquement la demande d'activité et de transport, et non l'offre d'activité ou l'offre de transport.

Fig. a. Répartition des activités.



Exemple. Considérons la répartition des salaires, i.e. des valeurs brutes des activités pour le motif de travail. Par analogie avec le marché français du travail, nous prenons une valeur médiane d'environ 2000 euros par mois, ramenée pour un jour ouvré à $2000/20 * 11/12 = 90$ euros environ, à raison de 20 jours par mois sur onze mois de l'année. Nous supposons que les valeurs brutes suivent une distribution log-normale, de médiane 90 euros et d'écart-type 0.6 pour la loi du log, ce qui induit une moyenne de 108 euros et un écart-type de 71 euros.

2 Modèle binaire

Jusqu'à présent nous avons considéré uniquement la concurrence entre les activités offertes dans une même zone d . Lorsque les activités se répartissent dans plusieurs zones, la concurrence microscopique entre activités prend une dimension spatiale et produit une concurrence macroscopique entre zones d'activité. Examinons maintenant la forme la plus simple de concurrence macroscopique, dans le cas élémentaire de deux zones de destination.

2A L'équilibre entre zones

Hypothèses. Soient deux zones de destination, désignées respectivement par d et d' . La zone d offre A_d activités, dont les valeurs brutes se répartissent suivant une fonction cumulée H_d . La zone d' offre $A_{d'}$ activités aux valeurs brutes réparties suivant $H_{d'}$. Nous considérons une unique zone d'origine o , qui regroupe X_o consommateurs potentiels d'activité. Les coûts de transport entre o et d ou d' sont respectivement $G_{od} = G_d$ et $G_{od'} = G_{d'}$.

Nous supposons encore la régularité des paramètres exogènes, i.e. $A_d \geq 0$, $A_{d'} \geq 0$, $X_o \geq 0$, $X_o \leq A_d + A_{d'}$ et la continuité de H_d^{-1} et $H_{d'}^{-1}$ sur $]0, 1[$.

Conditions d'équilibre. L'état du marché économique se caractérise par des variables de quantité, les nombres de clients servis T_d et $T_{d'}$, ainsi que par les valeurs nettes $\tilde{v}_d - G_d$ et $\tilde{v}_{d'} - G_{d'}$. Un client d'activité compare $\tilde{v}_d - G_d$ à $\tilde{v}_{d'} - G_{d'}$ pour choisir son activité et donc sa zone de destination. Alors trois cas sont possibles en fonction des paramètres exogènes.

Cas A, le chargement exclusif d'une zone de destination, disons d : alors $T_d = X_o \leq A_d$ et $T_{d'} = 0$. Le client marginal de la zone d la préfère à la zone d' , donc $H_d^{-1}(1 - X_o / A_d) - G_d \geq \tilde{v}_{d'} - G_{d'} = H_{d'}^{-1}(1) - G_{d'}$. Par transitivité, cela entraîne que $H_d^{-1}(1) - G_d \geq H_{d'}^{-1}(1) - G_{d'}$, donc que la valeur nette de d dépasse celle de d' lorsque les deux zones sont inoccupées. Si $T_d < A_d$ nous posons $u_o = H_d^{-1}(1 - X_o / A_d) - G_d$ et $\rho_d = \rho_{d'} = 0$. Si $T_d = A_d$ nous posons $u_o = H_{d'}^{-1}(1) - G_{d'}$, $\rho_d = H_d^{-1}(0) - G_d - u_o$ et $\rho_{d'} = 0$.

Cas B, le chargement des deux zones avec saturation d'au moins une zone, disons d . Alors $0 < T_d = A_d < X_o$ et $T_{d'} = X_o - A_d > 0$. La valeur nette $\tilde{v}_d - G_d = H_d^{-1}(0) - G_d$ correspond seulement à la dernière activité servie en zone d . Si $T_{d'} < A_{d'}$ alors $H_d^{-1}(0) - G_d \geq \tilde{v}_{d'} - G_{d'}$, et nous posons $u_o = H_{d'}^{-1}(1 - T_{d'} / A_{d'}) - G_{d'}$, $\rho_d = H_d^{-1}(0) - G_d - u_o$ et $\rho_{d'} = 0$. Si $T_{d'} = A_{d'}$ alors il n'y a plus d'activité vacante, nous posons $u_o = \min\{H_d^{-1}(0) - G_d, H_{d'}^{-1}(0) - G_{d'}\}$, $\rho_d = H_d^{-1}(0) - G_d - u_o$ et $\rho_{d'} = H_{d'}^{-1}(0) - G_{d'} - u_o$.

Cas C, le chargement des deux zones, sans saturation : alors $0 < T_d < A_d$ et $0 < T_{d'} < A_{d'}$, $T_d + T_{d'} = X_o$, et $\tilde{v}_d - G_d = \tilde{v}_{d'} - G_{d'}$. Nous posons $u_o = \tilde{v}_d - G_d = \tilde{v}_{d'} - G_{d'}$ et $\rho_d = \rho_{d'} = 0$. En remplaçant $T_{d'}$ par $X_o - T_d$, nous obtenons une équation qui détermine T_d :

$$H_d^{-1}(1 - T_d / A_d) - G_d - H_{d'}^{-1}(1 - (X_o - T_d) / A_{d'}) + G_{d'} = 0.$$

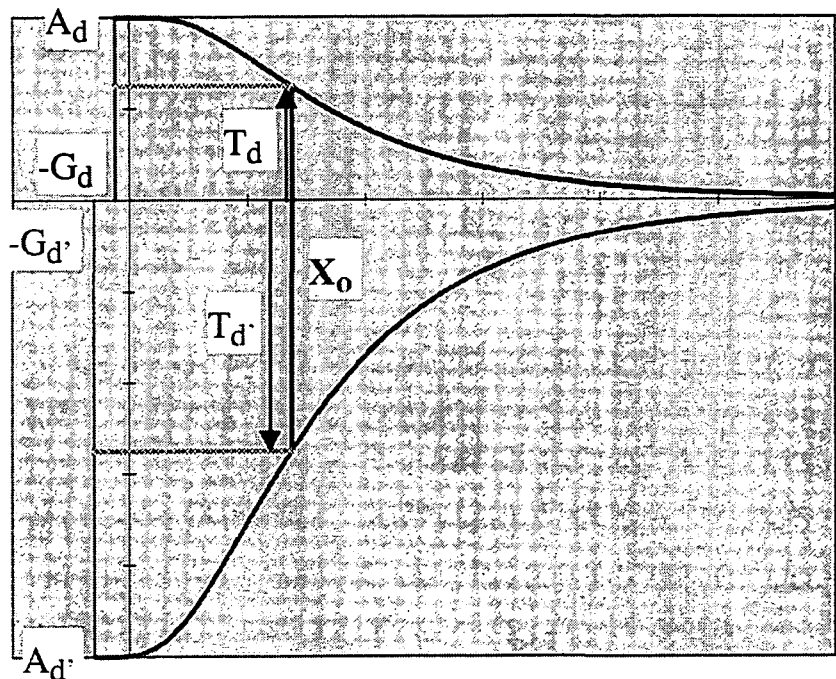
2B Illustration

La figure b illustre la concurrence entre deux zones de destination. L'axe des abscisses correspond aux valeurs nettes des activités vacantes, pour une zone ou pour l'ensemble des deux zones. Dans la partie supérieure (resp. inférieure), l'axe des ordonnées correspond au volume T_d (resp. $T_{d'}$), mis en relation avec les valeurs nettes par la fonction d'offre de la zone d (resp. d') qui à une valeur nette u associe le volume servi $t_d(u) =$

$A_d(1 - H_d(u + G_d))$. Ce volume servi vérifie $0 \leq t_d(u) \leq A_d$ et $u = H_d^{-1}(1 - t_d(u)/A_d) - G_d$. Alors le cas C correspond à une abscisse \tilde{u} telle que $t_d(\tilde{u}) + t_{d'}(\tilde{u}) = X_o$.

La figure b suppose des distributions log-normales pour les valeurs brutes, avec les paramètres suivants $\mu_d = \mu_{d'} = 4.5$, $\sigma_d = \sigma_{d'} = 0.6$ ce qui correspond à l'exemple du motif de travail. Nous avons fixé les effectifs à $A_d = 200$, $A_{d'} = 500$, $X_o = 400$, et les coûts de transport à $G_d = 6$ et $G_{d'} = 15$ (en euros, conformément aux valeurs brutes). Les objets bleus (resp. rouges) se rapportent à la zone d (resp. d'). Le segment rose a pour longueur X_o , répartie en T_d au dessus de l'axe des abscisses et en $T_{d'}$ en dessous.

Fig. b. Concurrence entre deux destinations.



2C Etude mathématique

Nous pouvons formaliser la discussion précédente en exprimant les cas A à C comme les conditions de Kuhn-Tucker sur la solution d'un programme mathématique d'optimisation, dont les variables endogènes sont les quantités T_d et $T_{d'}$. Un tel programme regroupe les différents cas sous une formule unique ; il permet d'établir des propriétés d'existence et d'unicité pour la solution, et guide le choix d'une méthode de résolution.

Les variables u_o , ρ_d et $\rho_{d'}$ définies dans chaque cas A, B et C vérifient toujours que $u_o(T_d + T_{d'} - X_o) = 0$, $\rho_d \geq 0$ et $\rho_d(T_d - A_d) = 0$, $\rho_{d'} \geq 0$ et $\rho_{d'}(T_{d'} - A_{d'}) = 0$. Nous les interprétons donc comme des multiplicateurs de Lagrange associés aux contraintes égalité $T_d + T_{d'} - X_o = 0$ et inégalité $T_d - A_d \leq 0$ et $T_{d'} - A_{d'} \leq 0$.

Soit $R_d(x) = \int_x^1 H_d^{-1}(\alpha) d\alpha$ une fonction primitive de $-H_d^{-1}$.

Th. Programme extrémal du modèle AVA binaire. Un état du modèle AVA binaire est un équilibre si et seulement s'il résout le programme extrémal concave suivant :

$$\max_{T_d, T_{d'} \geq 0} J(T_d; T_{d'}) = \sum_d A_d R_d \left(1 - \frac{T_d}{A_d}\right) - G_d T_d$$

sous les contraintes $T_d - A_d \leq 0$, $T_{d'} - A_{d'} \leq 0$ et $T_d + T_{d'} - X_o = 0$.

Corollaire d'existence et unicité. [i] Sous l'hypothèse de régularité, il existe une solution au modèle AVA binaire. [ii] Les solutions forment un ensemble convexe. [iii] La valeur optimale du programme de maximisation est *unique*, résultat important car elle représente le surplus net total des clients d'activité.

2D Interprétation économique : accessibilité et surplus

Interprétons le multiplicateur u_o associé à la contrainte égalité $T_d + T_{d'} - X_o = 0$. Pour une zone d chargée et non saturée, i.e. $0 < T_d < A_d$, alors à l'optimum $u_o = H_d^{-1}(1 - T_d / A_d) - G_d$ est la valeur nette de la meilleure activité vacante en zone d , égale à la valeur nette de la meilleure activité vacante en zone d' si $0 < T_{d'} < A_{d'}$. Donc u_o mesure la valeur nette de la meilleure activité vacante, quelle que soit la zone de destination : nous l'appelons **accessibilité aux activités vacantes**.

La fonction objectif J est la somme des surplus nets des consommations d'activités en zone d et en zone d' : donc elle mesure le **surplus net total** des consommations d'activité. Nous pouvons préciser le lien entre l'accessibilité u_o et le surplus J en formulant le programme dual associé à $\max J$.

Restreignons-nous pour simplifier au cas C, avec $0 < T_d < A_d$ et $0 < T_{d'} < A_{d'}$. Alors $\rho_d = \rho_{d'} = 0$ tandis que $T_d = A_d(1 - H_d(u_o + G_d))$ et $T_{d'} = A_{d'}(1 - H_{d'}(u_o + G_{d'}))$, le lagrangien se réduit à la fonction objectif duale

$$M(u_o) = X_o u_o + \sum_d A_d [R_d(H_d(u_o + G_d)) - (u_o + G_d)(1 - H_d(u_o + G_d))].$$

Le programme dual consiste à minimiser cette fonction de u_o . En notant J^* la valeur optimale du programme primal et M^* celle du programme dual, à l'optimum les valeurs J^* et M^* se confondent, donc on en déduit que

$$\frac{\partial J^*}{\partial X_o} = \frac{\partial M^*}{\partial X_o} = u_o :$$

la dérivée partielle du surplus net optimal par rapport au volume de demande X_o est égale à l'accessibilité u_o (en l'absence de saturation).

2E Distribution exponentielle et modèle gravitaire

Montrons maintenant que sous certaines hypothèses, le modèle AVA a la forme d'un modèle gravitaire de distribution. Nous supposons que la répartition H_d est exponentielle (ou presque exponentielle) : précisément, $H_d(u) \approx 1 - \exp(-\lambda_d(u - m_d))$ pour $u \geq m_d$ et $H_d(u) \approx 0$ pour $u < m_d$.

$$\text{Alors } H_d^{-1}(y) \approx m_d - \ln(1 - y) / \lambda_d \text{ et } R_d(x) = \int_x^1 H_d^{-1}(\alpha) d\alpha = (1 - x) \left[\frac{1 - \ln(1 - x)}{\lambda_d} + m_d \right].$$

Dans le cas à une seule origine, la fonction objectif est $J = \sum_d T_d \left[\frac{1 - \ln(T_d / A_d)}{\lambda_d} + m_d - G_d \right]$.

La condition d'équilibre d'une relation O-D est que $T_d = A_d \exp[-\lambda_d (G_d + u_o + \rho_d - m_d)]$. En sommant, on obtient une formule de log-somme qui caractérise la variable duale u_o : $1 = \sum_d \frac{A_d}{X_o} \exp[-\lambda_d (G_d + u_o + \rho_d - m_d)]$. Le maximum est $J^* = u_o X_o + \sum_d T_d (\frac{1}{\lambda_d} + \rho_d)$.

Supposons de plus l'absence de saturation, donc $\rho_d = 0$ pour toutes les destinations, et l'identité des répartitions H_d , donc des paramètres λ et m identiques pour toutes les destinations. Les expressions deviennent alors

- $u_o = m + \frac{1}{\lambda} \ln \sum_d \frac{A_d}{X_o} \exp[-\lambda G_d]$ pour la variable duale,
- $J^* = X_o (u_o + 1/\lambda)$ pour la valeur optimale,
- $\frac{T_d}{T_{d'}} = \frac{A_d \exp[-\lambda G_d]}{A_{d'} \exp[-\lambda G_{d}]}$ pour le rapport de deux volumes O-D, i.e. une formule gravitaire.

Ainsi nous pouvons justifier la formule gravitaire, et l'utiliser pour un calcul économique rigoureux.

3 Comparaison aux modèles antérieurs

Nous avons évoqué dans l'introduction les principaux modèles antérieurs de distribution, en expliquant la progression du contenu économique depuis le modèle gravitaire jusqu'au modèle d'accessibilité de Koenig et Cochrane (abrégié en ACK), en passant par le modèle de choix discret entre zones. Nous comparons ici les modèles AVA et ACK, d'abord en comparant leurs hypothèses économiques, puis sur un exemple binaire.

3A Contenu économique

Le modèle AVA explicite les activités individuelles dans leur dimension économique, à savoir leur valeur brute pour un client. Chaque activité possède une valeur objective qui s'impose à tous. L'occupation d'une activité la rend indisponible pour d'autres clients.

Parmi les modèles antérieurs, seuls le modèle des opportunités et celui de Koenig et Cochrane considèrent également des activités individuelles. Dans le modèle des opportunités, seul le nombre total d'activités intervient et pas leur valeur ; le choix d'une zone de destination est un processus aléatoire et non économique (Leurent, 1998a).

Dans le modèle ACK, une activité n'a pas une valeur objective, chaque client associe à chaque activité une valeur subjective soumise à des contraintes d'agrégation au niveau de l'individu (une certaine distribution statistique pour toutes les valeurs brutes), puis au niveau de la population (même distribution statistique pour tous les clients). Toutes les activités ont la même valeur brute subjective moyenne, ce qui empêche de les distinguer au delà de la zone. Enfin l'occupation des activités n'est représentée qu'au niveau agrégé des zones de destination. L'hypothèse des valeurs subjectives, a priori séduisante, aboutit en fait à dénier toute valeur objective et toute occupation individuelles !

3B Comparaison formelle dans le cas binaire

Pour préciser la comparaison entre AVA et le modèle d'accessibilité de Koenig et Cochrane, considérons le cas binaire à une zone d'origine o et deux zones de destination d et d' .

Dans ACK chaque zone d offre A_d activités ; chaque client évalue de façon subjective les activités et la valeur brute subjective d'une activité pour un client est une variable aléatoire dont nous notons H la fonction de répartition. Par hypothèse, la part de marché de la zone d se confond avec la probabilité que, parmi les $A_d + A_{d'}$ activités offertes, celle de valeur nette maximale se trouve en zone d . Dans le cas d'activités indépendantes et d'une répartition exponentielle $H(v) = 1 - \exp(-\lambda(v - m))$ pour $v \geq m$ ou 0 sinon, cette probabilité vaut

$$P_{od} = \frac{A_d \exp(-\lambda G_d)}{A_d \exp(-\lambda G_d) + A_{d'} \exp(-\lambda G_{d'})} = \frac{T_d}{X_o}$$

En l'absence de congestion, cette formule est identique à la formule du modèle AVA binaire avec des répartitions H_d et $H_{d'}$ exponentielles et identiques (Cf. section 2E). Dans ACK la valeur nette moyenne est ⁽²⁾ $u'_o = m + \frac{1}{\lambda} [\gamma + \ln \sum_d A_d \exp(-\lambda G_d)]$ appelée accessibilité depuis la zone o . Cette formule ressemble à l'accessibilité u_o dans AVA, à deux différences près : primo la présence de γ dans u'_o , secundo la division de A_d par X_o dans u_o ce qui normalise les volumes. Koenig (1975) définit le surplus net total par $J^* = X_o u'_o$, formule qui ressemble à la formule $J^* = X_o (u_o + 1/\lambda)$ valable pour AVA.

Pour représenter la congestion d'une destination, supposons que la capacité d'accueil de la zone d se limite à $B_d \leq A_d$. Comme dans ACK les activités sont indiscernables, le seul effet est de limiter $T_d = \min\{B_d, X_o P_{od}\}$. Cela revient à pénaliser les valeurs brutes des activités situées en d d'un montant ρ'_d tel que

$$\frac{T_d}{X_o} = \frac{A_d \exp[-\lambda(\rho'_d + G_d)]}{A_d \exp[-\lambda(\rho'_d + G_d)] + A_{d'} \exp(-\lambda G_{d'})}$$

Dans le cas binaire, on en déduit que si $T_d < B_d$ alors $\rho'_d = 0$, tandis que si $T_d = B_d$ alors $\frac{B_d}{X_o} = [1 + \frac{A_{d'}}{A_d} \exp(-\lambda(G_{d'} - \rho'_d - G_d))]^{-1}$ ce qui mène à $\rho'_d = \frac{1}{\lambda} \ln(\frac{A_d}{A_{d'}} \frac{X_o - B_d}{B_d}) + G_{d'} - G_d$ et à $A_d \exp(-\lambda(\rho'_d + G_d)) = \frac{A_{d'} B_d}{X_o - B_d} \exp(-\lambda G_{d'})$, que l'on injecte dans la définition de $u'_o = m + \frac{1}{\lambda} [\gamma + \ln \sum_d A_d \exp(-\lambda[G_d + \rho_d])]$ pour obtenir que $u'_o = m - G_{d'} - \frac{1}{\lambda} [\ln(\frac{X_o - B_d}{X_o A_d}) - \gamma]$. Koenig (1975) conserve la formule $J^* = X_o u'_o$ pour le surplus net total.

Dans AVA il faut d'abord préciser les valeurs des B_d activités subsidiaires : une hypothèse naturelle est que seules subsistent les activités les plus rentables, donc la partie supérieure de la distribution. Alors la seule modification au programme est de remplacer A_d et H_d par B_d et H'_d telle que $H'_d(v) = 0$ si $v < H_d^{-1}(1 - \frac{B_d}{A_d})$ et $H'_d(v) = \frac{A_d}{B_d} [H_d(v) - (1 - \frac{B_d}{A_d})] = 1 - \frac{A_d}{B_d} [1 - H_d(v)]$ si $v \geq H_d^{-1}(1 - \frac{B_d}{A_d})$, donc $H_d'^{-1}(\alpha) = H_d^{-1}(1 - (1 - \alpha) \frac{B_d}{A_d})$. Plus simplement, on peut conserver A_d et H_d dans la fonction objectif et remplacer uniquement la contrainte $T_d \leq A_d$ par $T_d \leq B_d$. Dans le cas exponentiel on conserve la condition

² Avec $\gamma \approx 0.5772$ la constante d'Euler

d'équilibre établie en section 2E, $T_d = A_d \exp[-\lambda_d(G_d + u_o + \rho_d - m_d)]$, et la contrainte de capacité impose que $T_d = \min\{B_d, A_d \exp[-\lambda_d(G_d + u_o - m_d)]\}$. Lorsque $T_d < B_d$ alors $\rho_d = 0$. Si $T_d = B_d$ alors $u_o + \rho_d = \frac{1}{\lambda_d} \ln\left(\frac{A_d}{B_d}\right) + m_d - G_d$; l'accessibilité u_o vérifie $X_o = B_d + A_{d'} \exp[-\lambda_{d'}(G_{d'} + u_o - m_{d'})]$, donc $u_o = m_{d'} - G_{d'} - \frac{1}{\lambda_{d'}} \ln\left(\frac{X_o - B_d}{A_{d'}}\right)$ ce qui ressemble encore à la formule de u'_o dans le modèle ACK. Par différence, le multiplicateur $\rho_d = \frac{1}{\lambda_d} \ln\left(\frac{A_d}{B_d}\right) + \frac{1}{\lambda_{d'}} \ln\left(\frac{X_o - B_d}{A_{d'}}\right) + m_d - m_{d'} + G_{d'} - G_d$ et se réduit dans le cas identiquement distribué à $\rho_d = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_d}{B_d} \frac{X_o - B_d}{A_{d'}}\right) + G_{d'} - G_d$, même expression que ρ'_d . Enfin le surplus net total est $J^* = X_o(u_o + 1/\lambda) + B_d \rho_d$ d'après la section 2E : cette formule diffère sensiblement du surplus J'^* dans ACK.

3C Exemple numérique

Afin d'ajuster la distribution log-normale de la figure b, nous fixons les paramètres de la répartition exponentielle à $m = 32.7$ et $1/\lambda = 73.0$ (en euros). Les volumes sont $A_d = 200$; $A_{d'} = 500$; $X_o = 400$. Pour simuler la congestion de la zone d , nous considérons éventuellement $B_d = 100$. Sauf mention contraire les coûts de transport s'élèvent à $G_d = 6$ et $G_{d'} = 15$ (en euros).

Nous comparons les modèles AVA et ACK en calculant primo les variables d'accessibilité u_o et u'_o , secundo les surplus nets totaux J^* et J'^* , cela en présence ou en l'absence de congestion. Nous mesurons les surplus nets totaux en termes relatifs, par rapport à la situation de référence avec $X_o = 400$, $G_d = 6$ et $G_{d'} = 15$. Les graphiques suivants illustrent les variations des grandeurs en fonction d'abord de $G_{d'}$ puis de X_o . Les courbes rouges correspondent au modèle AVA, les bleues au modèle ACK. Un trait tireté marque la restriction par B_d , ce qui n'implique pas toujours la congestion.

En fonction de $G_{d'}$, les surplus nets (relatifs) d'AVA et d'ACK se confondent en l'absence de congestion, de façon prévisible puisque les formules sont identiques en termes relatifs (figure d). La restriction par B_d modifie relativement peu les résultats d'AVA. En revanche la congestion corrompt les résultats d'ACK : il faudrait corriger la formule du surplus ACK afin de prendre en compte les variables ρ'_d .

Fig. c. Variations de l'accessibilité en fonction de G_d' .

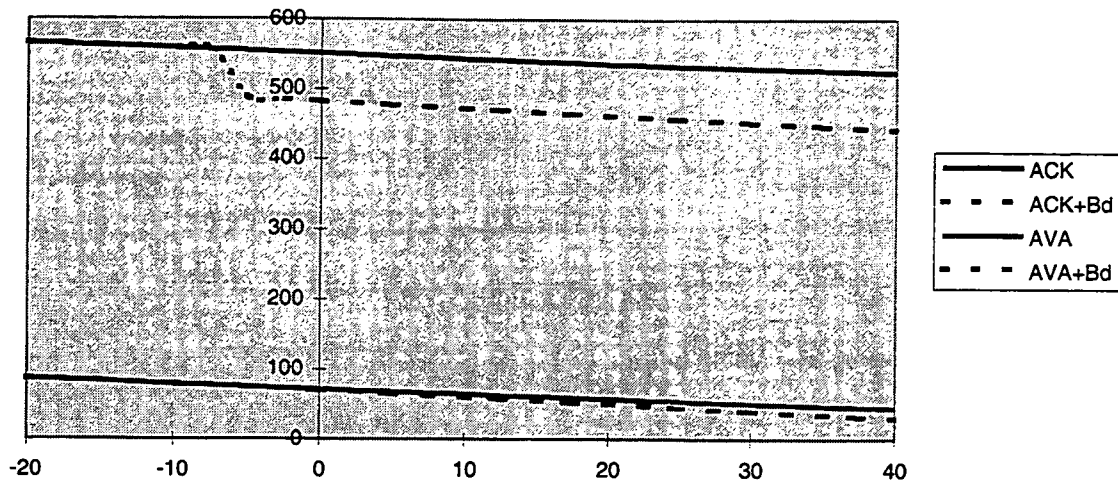
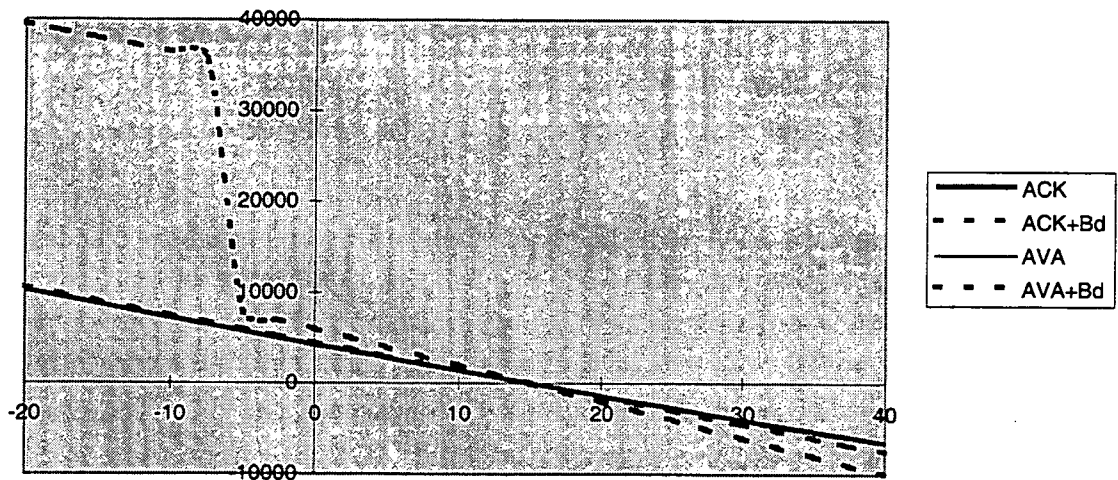


Fig. d. Variations du surplus net total (en termes relatifs) en fonction de G_d' .



En fonction de X_o , les modèles se distinguent plus nettement, même en l'absence de congestion. Dans AVA l'accessibilité et le surplus évoluent de façon logique : décroissance lente de l'accessibilité car la valeur marginale baisse en fonction du nombre de demandeurs (figure e), donc croissance à rendement décroissant pour le surplus total. Les courbes du cas restreint par B_d sont sensiblement inférieures en cas de congestion, mais cela n'apparaît pas sur les graphiques car les grandes variations du modèle ACK dominant.

Dans ACK l'accessibilité reste constante en l'absence de congestion ; la congestion entraîne un saut négatif. Le surplus net évolue très rapidement en fonction du volume de demande, comme on pouvait s'y attendre avec la « prime à la taille » apparente dans les formules. Par rapport à AVA la sensibilité est très grande, ce qui tend à surestimer très fortement le surplus d'un investissement de transport destiné à satisfaire une croissance de la demande ! Cependant la surprise majeure tient au rôle de la congestion, qui inverse les résultats et dénie tout gain de surplus par croissance de la demande ! Cet effet aberrant tient sans doute à une mauvaise formule du surplus ACK en cas de congestion.

Fig. e. Variations de l'accessibilité en fonction de X_o .

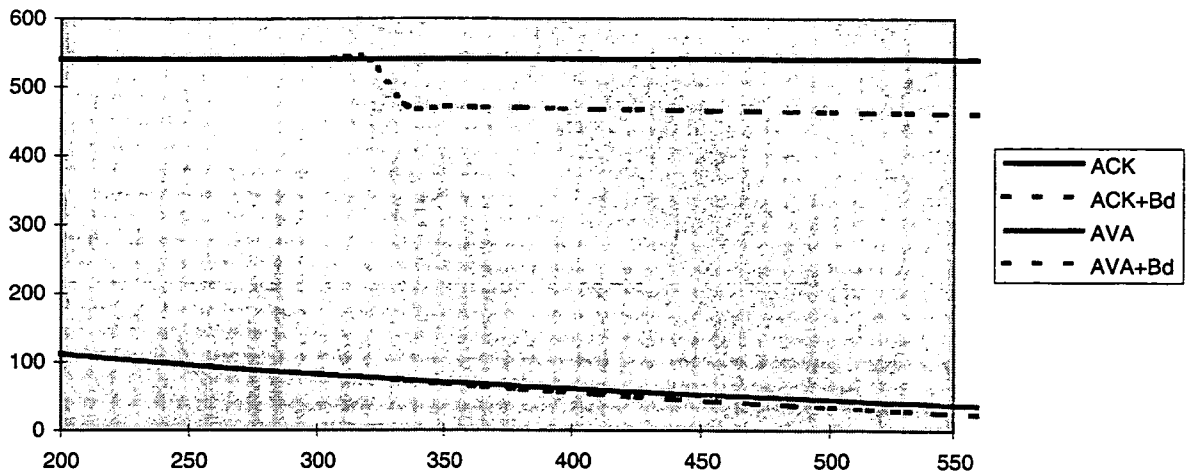
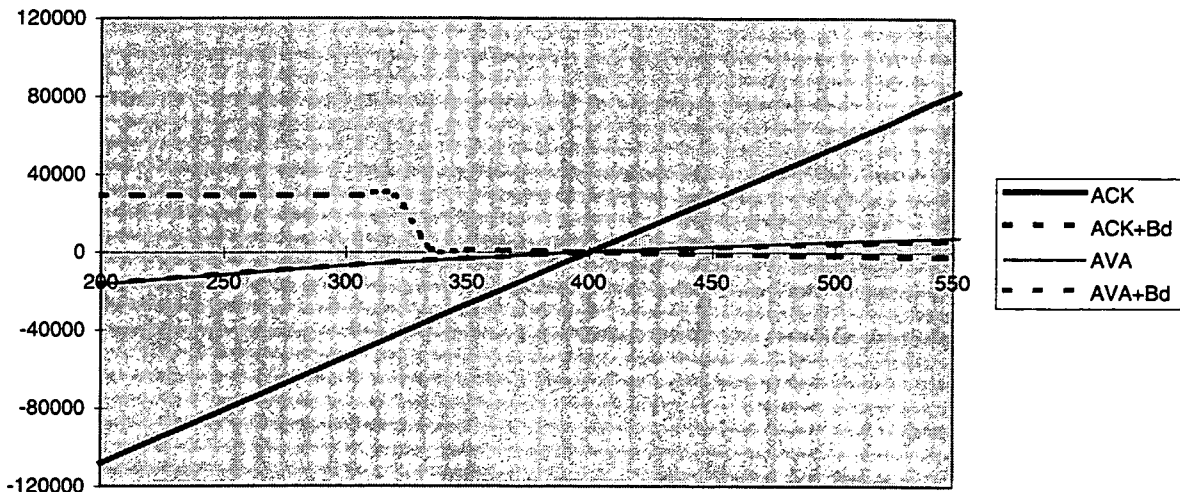


Fig. f. Variations du surplus net total (en termes relatifs) en fonction de X_o .



3D Synthèse

Les différences d'interprétation économique entre AVA et ACK sont patentes. Au plan formel les différences apparaissent moins, cependant les formules d'ACK omettent de rapporter les quantités offertes A_d à la quantité demandée X_o : cela induit un bonus de taille pour u'_o par rapport à u_o , de manière injustifiée si l'on admet les hypothèses d'AVA. Remarquons de plus que dans AVA l'analyste peut différencier les zones non seulement par le volume d'activité A_d , mais encore par la répartition H_d , ce qui permet d'explicitier les différences structurelles entre zones (ex. entre centre et périphérie dans une agglomération).

4 Conclusion

Nous avons proposé le modèle AVA d'accessibilité aux activités et de distribution spatiale, fondé sur des principes microéconomiques : chaque activité possède à la fois une valeur économique brute et une position dans l'espace. Chaque client d'activité, situé dans une zone d'origine, retire de la consommation d'une activité une valeur nette égale à la valeur brute diminuée du coût de transport : un client marginal choisit l'activité vacante de valeur nette maximale. A l'équilibre du marché, dans chaque zone de destination seules les meilleures activités sont consommées, chacune par un seul client : l'occupation des activités individuelles est explicite.

Dans le modèle AVA, les notions d'accessibilité et de surplus apparaissent de façon claire et rigoureuse, sous la forme de variables quantitatives qui résultent de l'équilibre entre offre et demande d'activités.

Le modèle AVA reste perfectible : nous l'avons étendu au cas de la demande élastique ; l'ajout de la congestion du transport est aisé (Leurent, 1999). Des extensions importantes, mais plus difficiles, concernent la différenciation des clients issus d'une même zone d'origine, et leur sélection au moins partielle par les offreurs d'activité : cela permettrait d'expliquer également le surplus de l'offre d'activité.

En traitant de façon probabiliste les activités offertes dans chaque zone de destination, nous avons donné au modèle AVA une forme mathématique standard : le modèle se caractérise par un problème de complémentarité non linéaire, ainsi que par un programme d'optimisation concave dont la fonction objectif représente le surplus net total des clients. L'accessibilité d'une zone d'origine est la variable duale (de valeur ou de prix) associée au partage de la consommation issue de cette origine entre les destinations.

Notre formulation mathématique permet d'appliquer AVA de façon analogue aux modèles antérieurs de distribution spatiale, qu'il surpasse par ses principes microéconomiques.

5 Références

Cochrane, R.A. (1975) A possible economic basis for the gravity model. *Journal of Transportation Economics and Policy*, 34-49.

Koenig, J.G. (1974) La théorie de l'accessibilité urbaine, un nouvel outil au service de l'aménageur. *RGRA*, 67-78.

Koenig, J.G. (1975a) *Théorie de l'accessibilité urbaine*. Thèse de l'Université Paris VI.

Koenig, J.G. (1975b) Les indicateurs d'accessibilité dans les études urbaines : de la théorie à la pratique. *RGRA*, 5-23.

Leurent, F. (1996). An analysis of modeling error, with application to a traffic assignment model with continuously distributed values of time, *Proceedings of the 24th European Transport Forum: Transportation Planning Methods*, D1, PTRC, London.

Leurent, F. (1998a) *La distribution spatiale du trafic, I : Principes et modèles économiques*. Note de travail INRETS. INRETS, Arcueil.

Leurent, F. (1999) *L'accessibilité aux activités vacantes, un modèle pour l'utilité socio-économique du transport*. Note de travail INRETS. INRETS, Arcueil.

Accessibility in Production Networks: Towards an Organisational Concept

Antje BURMEISTER

INRETS-TRACES

*20, rue Elisée Reclus
59650 Villeneuve d'Ascq (France)
e-mail: antje.burmeister@inrets.fr*

- DRAFT IN PROGRESS -

Abstract:

'Accessibility' is a well-known concept in transport economics, commonly used in the evaluation of transport systems and new infrastructure projects. The objective of this paper is to show the limits of this concept as a tool for analysing the efficiency of circulation in production systems. We show that the concept is either explicitly or implicitly based on the neo-classical framework in economics and conceptualised as the cost or disutility of distance. Accessibility, in this spatial sense, is less and less relevant, especially in just-in-time production systems and in immaterial interactions. Circulation of goods and information in production systems is more influenced by organisational than by spatial dimensions. We will examine the possibility of introducing the heterodox conceptualisation of space and proximity into the measurement of accessibility and develop some of the organisational dimensions, such as flexibility, reliability, control and adaptation of circulation to production rhythms.

1. Introduction

The paper questions the conceptualisation of "accessibility", a well known concept in transport economics and geography. It deals, in particular, with the theoretical and methodological analysis of the role of accessibility in the efficiency and the dynamics of production systems. Transportation and communication systems are, of course, crucial to the efficiency of production systems and, more generally, to regional development. On this ground, accessibility is often considered as a determinant of regional development. We will argue that accessibility, as a merely spatial concept, does not deal adequately with the spatial and organisational dynamics of production systems.

The first part of the paper will present a survey on accessibility as a concept of transportation economics and geography. Most approaches, especially in transport economics, are explicitly, or more often implicitly, based on the neo-classical framework. Accessibility is conceptualised by the means of distance, time, cost and location on the infrastructure network. Some larger and more comprehensive approaches recognise the need to include non physical aspects into their definition of accessibility : social distance, the possibility to participate in a given activity, determined by various factors beyond physical distance etc. In empirical work however, when the problem becomes one of measurement and of appropriate indicators of accessibility, only the spatial dimension (or the transport cost dimension) is usually taken into consideration.

We will then analyse the limits of accessibility as a merely spatial (or space-time) concept for understanding the efficient organisation of the circulation of goods, information and knowledge in contemporary production systems. In our view, the efficiency of circulation loses more and more its strong correlation with geographical accessibility. Efficient organisation of transportation of goods is less and less constrained by physical distance and more and more by organisational aspects. Analyses in terms of mere transport cost are also incomplete. At the very least, it is necessary to analyse a complete cost measurement, including inventory, opportunity costs, risk etc. Even then, the evaluation of access seems incomplete to us, since it lacks the dimensions of flexibility, reliability, controllability of circulation, which become more and more important, especially in just-in-time production systems.

2. The concept of accessibility and the underlying analysis of space

Accessibility is a well-known and easily (at least intuitively) comprehensible concept in transport economics. It can be roughly defined as the ease of spatial interaction, the potentiality of contacts with activities of supplies or as the attractiveness of a node in a network taking into account the mass of other nodes and the costs to reach those nodes via the network (Rietveld/Bruinsma, 1998). According to Izquierdo/Monzon (1992), accessibility measures the separation of activities or locations linked together by a transport system.

The concept is thus meant to describe the quality of services provided by a transport system and has commonly been used in transport and regional planning for more than 30 years. What is more, accessibility is often used as a "miracle word" in order to explain the need for transport investment.

2.1. The conceptual development of accessibility

Accessibility is, initially, a geographical concept. Geographers define the concept as the capacity to reach customers, a service, a message etc. The first conceptualisation going further than the mere physical measurement of distance or access was made by Hansen (1959). The concept has then progressively been introduced in transport planning and evaluation of projects in the 1960's and 1970's.

We can identify, schematically speaking, three steps in the complexification of the concept:

- I. Accessibility as a topological concept: physical measurement of the properties of space or the transport system
- II. Accessibility as a relationship between opportunities of interaction and cost, based on the gravity model of spatial interaction
- III. Accessibility as the net utility of the transport system, based on the neo-classical theory of consumer behaviour

Much of transportation research has been devoted to methodological aspects of accessibility. Measurement has thus been progressively refined and become more complex. The first indicators were strictly physical: distance, expressed in *km*, time or transport cost. The service provided by an additional infrastructure or an improvement of the transport system is measured by the reduction in travel time or transport cost (or generalised transport cost).

Other topological indicators do not refer to Euclidean space, but to network analysis. In its simplest expression, accessibility means access to a network, expressed as a binary variable: accessibility equals either 1 (connected to the network) or 0 (not connected). This type of indicator is more relevant in networks such as telecommunications, where cost is almost independent from distance. A major improvement comes from the application of graph theory, which allows to model the structure of a transport network and thus allows to have a more realistic representation of space structured by transport infrastructure.

The problem with topological indicators, from the point of view of transport planning, is that they only describe the *supply* of transport services, while they do not take into account demand. Accessibility is always positive, i.e. an improvement of accessibility is always an improvement of the quality of the transport system.

Demand for transportation is introduced through the application of the gravity model, well known in spatial analysis: the demand for spatial interaction is derived from the distribution of population, employment, income etc.

The general form of gravity-based accessibility indicators is the following:

$$A_i = \sum_j O_j f(C_{ij})$$

Where

O_j :	motive for travel (opportunities of destination in zone j)
C_{ij} :	measurement of the journey from i to j
f :	weighting function, expressing the "resistance function"

The third step in the development of an "economic" theory of accessibility was the introduction of the "utility" concept (Koenig, 1974). Measuring the service provided by an additional infrastructure or an improvement of the transport system through reduction of travel time or transport cost is problematic. Topological and gravity-type measures implicitly assume total transport demand to be stable over time. However, it is well known that the addition of a new element to the transport system usually induces new demand, and that improvements of the transport system do not result in decreasing, but stable or even increasing overall transport times or transport costs.

The economic measurement of accessibility is *net utility*, the difference between the utility of the attracting motive (jobs, services etc.), and the global transport cost (the resisting element). This formulation supposes, of course, to introduce a utility function into the calculation scheme.

Although the formulation of utility is quite basic, it introduced a revolution in transport planning, dominated until then by the physical measurements of the engineering sciences. However, as shown in the next table, most indicators developed for transport planning studies or even econometric models rely on the more basic formulations of accessibility.

Figure 1: A classification of alternative indicators of accessibility

(based on the survey of accessibility indicators and studies in Rietveld/Bruinsma, 1998)

Index	Definition	Remarks	Indicator	Type
Acc1	A node has access to a network if a link exists between the node and the network.	Access, connectivity Binary variable: 1 or 0 Ex: the city X is connected to the highway network	Connectivity	TOP OLOGICAL INDICATORS
Acc2	The distance one has to travel between the node and the nearest node on the network.	Ex: the distance between the city X and the nearest point of entry of the national highway system is 17 km.	Distance	
Acc3	The accessibility of a node in a network is the total number of direct connections with other nodes.	Ex: From city X one can fly to 12 destinations without changing planes.	Connectivity	
Acc4	The accessibility of a node to another node is the total number of links connected to this node.	Ex: From city X, the railway lines extend in 4 directions.	Connectivity	
Acc5	The accessibility of a node to another node is measured as the travel cost between these nodes.	Accessibility is considered in a strictly bilateral way without summation between destinations.	Cost	
Acc6	The accessibility of a node is the weighted average travel cost between the particular node and all nodes in the network.	Weights may relate to the masses of the nodes, or to the total number of trips made to the nodes.	Interaction	ECONOMIC INDICATORS
Acc7	The accessibility of a node in a network is the expected value of the maximum utility of a visit to any node.	Utility of a visit to a certain node is assumed to depend on - the mass of the node - the travel costs of a trip to the node - a stochastic term	Utility	
Acc8	The accessibility of a node in a network is proportional to the spatial interaction between the node and all other nodes.	The spatial interaction between nodes may be directly measured or computed by means of a spatial interaction model.	Interaction	
Acc9	The accessibility of a node in a network is the total number of people one can reach from the node within a certain transport cost limit.		Interaction	
Acc10	The accessibility of a node is the inverse of the balancing factor in a singly or doubly constrained spatial interaction model.	Interpretation given by many authors.	Interaction	
Acc11	Accessibility is measured by means of expert judgement.	No formal definition is given. Usually a ranking of cities.	Ranking	MIXED

The main conclusion that we can draw from this comparison of accessibility indicators in use in economic modelling as well as in project evaluation is that the theoretical background is hardly ever questioned, and that developments relate mainly to technical aspects of measurements. Accessibility is evaluated differently according to the subject (access to workplaces, access to services etc.), to the type of flows (goods or people) and to the spatial scale (local, urban, regional, national, European etc.). Important developments have been made in the field of graph theory and spatial imagery. However, the framework of

evaluation remains either a-theoretical (in the case of topological measures) or based implicitly on the neo-classical analysis in economics.

2.2. *The concept of space: space = transport cost*

We will now examine the different types of accessibility measures as to their theoretical background, and particularly their conceptualisation of *space*. We can distinguish between indicators without an explicit economic theory and those that do refer to a form of economic theory, be it very basic.

Figure 2: The conceptual development of accessibility

Type	Measurement	Theoretical background
Topological indicators:		Topology of the transport network:
	- Distance	
	- Time	➤ <i>Euclidean space</i>
	- Transport cost	
	Connectivity	➤ <i>Graph theory</i>
"Economic" indicators:		
	Spatial interaction (attraction function / impedance function)	➤ <i>Gravity model</i>
	Utility function (net utility: gross utility of nodes - transport cost)	➤ <i>Neo-classical theory of consumer behaviour</i>

The topological indicators of accessibility refer to the discipline of regional planning in geography. Their content belongs to the field of physical geography, in the sense that they do not have an explicit social or economic content. The (implicit or explicit) objective of these analyses is spatial equity. Accessibility indicators measure the differentiation of physical space created by the transport system.

The absence of an explicit economic theory in these formulations does not mean that they do not convey any conceptualisation of space and its role in the economy. On the contrary, the use of such indicators in economic analyses of spatial organisation or in evaluation studies of specific infrastructures confers them an implicit theoretical content. The spatial dimension of economic systems is derived either from Euclidean space, distorted by geographical constraints, or from network representations, and defined exclusively by transport costs. Space, in this view, is simply a constraint in economic interactions.

In all these indicators, space is considered as a "friction" in interactions between economic agents, introducing some form of distance, cost or a negative utility. The intensity of this friction (or transport cost) is usually considered as proportional to distance (or connectivity).

The gravity type indicators introduce weighting of accessibility by the interest attached to a specific location. The utility type indicators further develop this model of spatial interaction by integrating the friction of space into the optimisation calculation of economic agents, not as distance in itself (or connectivity), but as the (negative) utility of distance.

We can thus conclude that what is commonly called the "economic" theory of accessibility combines two major features of neo-classical economic theory: the theory of homogenous space and the theory of consumer behaviour (marginal utility). Space is here an exogenous resource, homogeneous and thus neutral to economic trajectories. Referring to Perroux' distinction between geonomic and economic space, this conceptualisation does not take into account the space constructed by the interactions between economic actors.

The orthodox analysis of space integrates space either as a variable in a partial equilibrium analysis or as an exogenous parameter. Space can be considered as a good, for which a market exists. The cost of distance (usually transport cost, but eventually also transaction cost) can be integrated in optimisation behaviour of economic agents.

The implicit conceptual representation behind most models refers to the standard neo-classical framework of production. In this framework, the improvement of technologies meant to overcome space in interacting (i.e. transportation and telecommunication techniques) will lead to the abolition of spatial friction. This is based on two essential assumptions:

- production is a combination of generic production factors, exclusively procured through market transactions;
- space is a reservoir of generic resources that can be transferred (or are accessible) at a certain cost.

There are no analyses in the field of transport economics which refer to theoretical frameworks other than neo-classical economic theory. Theoretical developments on the theory of production and in regional science, which develop alternative assumptions, have been totally ignored in transport economics up to now. The evolutionist theories of production and innovation, for instance, adopt an approach in terms of resource creation (as opposed to resource allocation). Production is here based on specific resources created through organisational learning. The paradigm of neutral space, on the other hand, has been contested by a long tradition of heterodox research from industrial districts and growth poles to local systems of innovation (milieu) and production and, more recently, the concept of proximity related to organisational learning and innovation (Bellet et alii, 1993). These analyses consider mere cost distance as a poor translation of the role of space in industrial dynamics. The focus is here on the role of space in the co-ordination of production.

On the whole, however, the relevance of the traditional conceptualisation of accessibility is hardly ever questioned. Similarly, the coherence of such concepts with the assumptions of the neo-classical framework is taken as a given, even in a field such as transportation, where the basic assumptions such as constant returns to scale are not verified (Gramlich, 1994). This theoretical framework has important consequences, especially in the field of transportation, where concepts translate into public policies quite directly.

3. The decreasing relevance of accessibility in the spatial organisation of production networks

The fading of the correlation between geography and accessibility is nowadays widely recognised in the literature: geography is less and less a determinant for accessibility. In a spatial vision of the concept of proximity, one could even consider that accessibility replaces physical proximity in a world where transport cost is falling and immaterial interactions growing fast.

However, we will attempt to show that accessibility, in its strictly spatial sense, is less and less a determinant of the efficiency of the circulation of goods, people and information. The organisation of transportation is less and less constrained by spatial distance and more and more by organisational aspects. Connectivity, in the sense of being or not connected to an infrastructure network, is also insufficient for understanding the spatial organisation of production. We will illustrate this thesis by three arguments: the absence of correlation between accessibility and regional development, firstly, and between accessibility and the possibility to implement Just-in-time production systems, secondly, and finally the specific problem of accessibility in the case of immaterial interactions.

3.1. The relationship between accessibility and regional development

In the field of regional science, there is abundant research work using the concept of accessibility as a determinant of regional growth. Authors such as Biehl (1986), Vickerman et alii (1995) and Spiekerman/Wegener (1996) conclude that the level of regional development in European regions appears to be clearly correlated the different levels of accessibility.

However, the limitations of this concept are easy to demonstrate, since the direction of the causal relationship remains ambiguous here: Infrastructure endowment can be interpreted as well as a cause as a consequence of regional development.

Moreover, the *dynamics* of regional development and their relationship to infrastructure investment remain impossible to explain. Vickerman et alii (1995), for instance, demonstrate that, whereas *levels* of GDP and *levels* of accessibility are usually correlated, *variations* in regional GDP over time cannot be clearly correlated to variations of accessibility. Their conclusions throw serious doubts on the theoretical foundations of policies using transport investments as a tool for regional development. What is more, the automatic nature of infrastructure effects in some of these theories leads to a dangerous vision of infrastructure investment as a universal tool of regional development strategies, as well as of European policies towards economic cohesion.

Thus, it appears to be problematic to establish a clear causal relationship between transportation and the performance of production systems within the traditional conceptual framework of transportation analysis. Access to generic resources does no longer appear as a determinant of regional development.

3.2. Just-in-time production systems and accessibility

It is widely admitted that the expansion of just-in-time (JIT) production systems is related to the increasing overall performance of goods transportation (among others, falling transport costs). It is impossible, however, to deduce a direct relationship between the performance of such production systems and accessibility. Whereas a sufficient overall level of accessibility is necessary for JIT production to function efficiently, the explanation of the efficiency of organisation of flows of goods lies elsewhere: in the organisation of flows much more than in the spatial properties of transportation systems.

In order to explore relationship between the diffusion of JIT production and deliveries and accessibility in terms of goods transportation, we use data from a survey of 110 production plants located in the Nord-Pas-de-Calais region, belonging to five industries (food, textile & clothing, chemicals, metalworking and machinery).

In our data base, JIT is defined from the point of view of what can be observed in the plant. We distinguish between JIT procurement (no input inventories: inputs are delivered to

the plant according to the needs of the production process), JIT delivery (no output inventory: outputs are shipped as soon as they leave the transformation process), and total JIT (no inventories at all: inputs arrive at, and outputs leave, the plant synchronously to the production process). This definition, however, does not include the question of whether inventories are held elsewhere (the supplier, or the distributor). A cross-tabulation with the level of accessibility of the location of each plant gives the following results:

Figure 3: Accessibility and implementation of JIT

<i>JIT:</i>	<i>Total JIT</i>	<i>Incomplete JIT</i>	<i>Inventories</i>	<i>Total</i>
<i>Accessibility:</i>				
<i>excellent</i>	0	6	4	10
<i>good</i>	4	29	26	59
<i>medium</i>	4	14	13	31
<i>weak</i>	0	7	3	10
Total	8	56	46	110

Levels of accessibility (for goods transportation):

- excellent:* location on a node of several infrastructures
- good:* location close to a major infrastructure (immediate access to a highway)
- medium:* less than 40 km to a highway
- weak:* more than 40 km to a highway (accessible only by small roads)

The striking feature here is that there is no correlation between JIT implementation and the level of accessibility¹. Among the plants that implement JIT at least partly, almost 40 % have a level of accessibility less than 'good'. The plants that implement total JIT production and delivery are equally distributed among good and medium accessibility (not one of them has an 'excellent' accessibility).

One plausible explanation is the fact that the region of Nord-Pas-de-Calais, as many European regions has, on the whole, a good endowment in high-speed infrastructure such as highways and high-speed railways, as well as a central position in Europe (although peripheral in France). Thus, even a "weak" accessibility here is still sufficient. Nevertheless, this analysis shows that location on the infrastructure network is not the main determinant for JIT implementation. The availability of infrastructure does, obviously, not constitute a bottleneck for high-speed deliveries and procurement.

Another, perhaps even more important explanation lies in the extreme quantitative and qualitative flexibility of goods transportation by road. The intense price competition in the trucking industry makes low-cost transportation available for a variety of products.

Many industry studies lead to similar conclusions. Industries such as the automobile industry, textile & clothing or the food producing sector illustrate the transformations in the organisation of production and circulation and the relative weakening of the spatial constraint.

The textile industry, for instance, is undergoing a fundamental change towards the "quick response" production system and short circuits of production, where the circulation of inputs and outputs induces higher standards of timeliness and reliability for transportation.

¹ The results for the Chi-square test lead to the conclusion that the assumption of independence between the 2 distributions cannot be rejected: $\chi^2 = 4,354$; DF = 6 ; significance 0.629

Moreover, the trend towards almost real-time adjustment of production series to retail sales data necessitates appropriate communication systems between subcontractors and the principal. Our study of garment subcontracting demonstrates that the main obstacle for implementing quick response systems functioning over long distance does not lie in the insufficient performance of transport and communication systems, but in organisational difficulties of co-ordinating different production systems.

In the food industry, the larger geographic scale of procurement and distribution systems that goes together with the trend towards specialisation of production plants on the European level is not only related geographical accessibility and the quasi-ubiquity and quality of infrastructure, but also includes many complex organisational aspects, such as the development of electronic data interchange (EDI) and real-time transmission of sales and production data between production plants in the food industry and firms of the distribution channels.

These industry cases clearly demonstrate that the transformations of production methods come with very different spatial forms, where accessibility in the spatial sense plays only a minor role.

3.3. The problem of accessibility in the case of immaterial flows

Accessibility becomes, in the case of immaterial flows, a problem of being or not being connected to the telecommunication infrastructure network (or to certain types of high-performance networks), a binary variable, since spatial distance does no longer have a significant influence on the cost of transmission of information.

The increase of immaterial flows in production systems and the development of telecommunication technologies and their impacts on spatial patterns of development and the spatial organisation of firms have been analysed in a considerable amount of literature. The simplistic idea of the vanishing friction of space in the future leads to a vision of a virtual world, where immaterial interactions will replace material transportation. This utopia of ubiquity and virtuality relies on the neo-classical vision of space as a friction in the model of equilibrium and competition.

In this analysis, telecommunication and transportation are considered as intermediate resources for production. Technological developments in both fields improve accessibility and lower the cost of overcoming distance in production activities. New technologies of communication create positive network externalities and thus have positive impacts on economic development (Capello/Nijkamp, 1996). This type of approach can, however, be criticised as a model of technological determinism, the development of new technologies of transport and communication changing the spatial patterns and the behaviour of firms in space (Capello/Gillespie, 1994).

Alternative approaches focus on the co-ordination of production systems and the media that support this co-ordination between actors. Transport and telecommunication are considered as alternative means of co-ordination between the members of the network (Brousseau/Rallet, 1997). The technological developments in both fields are instrumental to, but not the causes of, new organisations of production and new forms of spatial division of labour (Moati/Mouhoud, 1994).

Rallet (1997) considers telecommunication and face-to-face contacts as complementary means for the co-ordination of production. According to this thesis, more intensive use of telecommunication will not replace travelling for face-to-face interactions.

The need for proximity will never disappear completely, because certain types of interactions cannot take place without spatial proximity.

The mere accessibility of information, which is, in the extreme vision of a virtual society, almost independent from spatial constraints, is not relevant explanation of the spatial dynamics of knowledge creation and diffusion. It puts aside the cognitive dimension, which is classically analysed through the distinction between information and knowledge (Machlup, 1983) and between tacit and codified knowledge (Nelson/Winter, 1982; Polanyi, 1958).

Neo-classical economics generally adopt a more restrictive definition of knowledge: technology, for instance, is considered as a sum of information (private and public). Sociologists, on the opposite, consider knowledge as a social, collective phenomenon. The conservation, reproduction and transfer of knowledge is embedded are collective phenomena.

Heterodox analyses in economics analyse knowledge in a sense closer to the second definition. In the tradition of the evolutionist and institutionalist economics of innovation, the diffusion of innovation is modelled as a learning process, thus not comparable to a process of transmission of information, but of knowledge and know-how, which necessitate close interactions between individuals.

The cognitive distinction between information and knowledge leads to the assumption that only information can be exchanged on a market and travel in space independently. Knowledge, on the other hand, can only be partly standardised and codified. Tacit knowledge is embedded in people and thus cannot travel in space independently from people. Its transmission requires interactions between people.

The "accessibility" of knowledge is thus not a mere problem of spatial accessibility, but an issue of creation of specialised resources through collective learning processes, which require organisational proximity.

4. Towards an organisational definition

We can summarise the main criticisms that we have addressed to the concept of accessibility in two points:

1. The conceptualisation of space as homogenous and neutral is far too poor to be able to describe properly the contemporary spatial dynamics of industrial development.
2. The spatial differentiation measured by accessibility indicators is too weak to explain the role of transport systems. 50 or 100 years ago, accessibility could probably be a good proxy of the spatial role of transport systems, whereas nowadays, quasi-ubiquity of quality infrastructure leads to a decreasing differentiation of space in terms of accessibility.

The lack of a conceptualisation of the organisational dimensions of transportation is an important limitation of economic theory of space, as well as of evaluation methods for transport infrastructure and systems. We will finally present some perspectives for the integration of the organisational dimension.

3.1. Access to generic resources or creation of specific resources

Traditional location analysis refers only to generic resources and assets, which can be transferred in space. Space is viewed as a reservoir of generic resources, and territories are

supposed to be differentiated only by their endowment in production factors: differentiation of wage rates, availability of skilled labour, etc. The problem of transportation is thus one of access to generic resources at a minimum transport cost; in other words, accessibility measures access to generic resources.

In the alternative framework of regional economics, regional development trajectories are related to specific resources, which cannot be transferred and which are constructed by the actors of a territory in a path-dependent, cumulative process. Such an approach can draw on the heterodox approaches in regional science of socially constructed space, as well as on the Swedish network approach of innovation. The creation of products uses specific resources, such as knowledge, which can be tacit and non standardised and embedded in actors, organisations and collective learning processes.

Storper (1995) develops the idea of the "*region as a nexus of untraded interdependencies*". These interdependencies are not transferable on a market and generate region-specific assets in production. According to this author, these assets are the central form of scarcity in contemporary capitalism, and not the availability of generic resources, as it is assumed in most location analyses.

Colletis and Pecqueur (1993) develop a similar approach by making the assumption that the main factor of differentiation of space does not lie in relative prices of production factors nor in transport costs, but in the supply of specific assets and resources, which do not compete directly on the market. They make a distinction between assets and resources: resources are potential production factors, whereas assets are production factors that are in use in a production process. A second distinction is made between generic and specific resources and assets. Generic production factors exist independently from their participation in a production process and can thus be transferred from one production to another. Specific assets are related to a specific production process and cannot be transferred to another without sunk costs. Specific resources are virtual and can thus not be transferred. These specific resources are critical factors in the process of technology creation.

These alternative analyses of regional development can be translated into the following assumptions :

- i. The development of production systems is mainly related to the path-dependent process of creation of specific resources.
- ii. Transport infrastructure is, in most cases, a generic resource which can be used in different production processes.

The conjunction of these two assumptions would imply that industrial development is less and less directly related to the endowment in terms of generic infrastructure. Accessibility, as a merely spatial concept, measures only the access to generic resources, but is unable to take into account the construction of specific resources and the organisational dimension of geographical proximity in production systems.

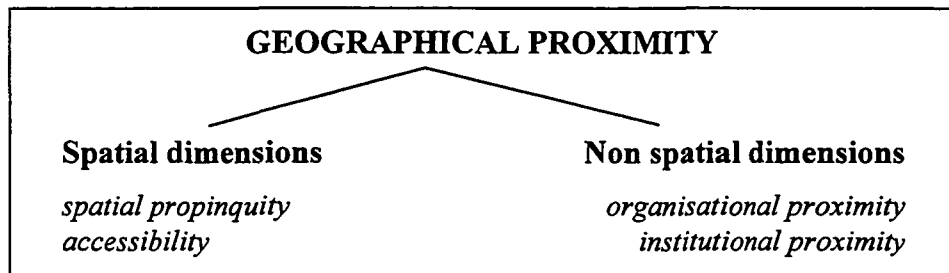
3.2. Accessibility and the concept of proximity

Heterodox analyses focus on geographical proximity in order to explain alternative modes of production such as industrial districts, innovative milieux and various forms of localised production systems. Analyses of JIT systems such as Toyota city focus on the geographical concentration of subcontractors and suppliers around the assembly plant in order to explain the efficiency of the system. Spatial proximity is analysed as improving horizontal

circulation of information and reducing the costs associated to the high frequency of delivery of parts.

A deeper analysis, however, has to recognise the non spatial content of the concept of proximity. Proximity in production systems has organisational, institutional and cultural aspects (Bellet et alii, 1993). Although the two aspects are linked, we can analytically oppose spatial proximity, on the one side, and organisational and institutional proximity, on the other. Accessibility, in its strictly spatial sense, belongs to the first dimension.

Figure 4: Dimensions of proximity



In its institutional dimension, proximity results in an institutional framework for interactions: shared representations, rules and norms, cognitive frameworks as well as formal institutions that stabilise the context of interactions (Kirat, in Bellet et alii, 1993).

Organisational proximity is a pre-condition as well as a result of networks of producers, since it can be defined as the capacity of putting together information and knowledge from different sources and organisations. Organisational proximity between the actors of a production network is as well a relation of *similarity* (actors who have similar organisations, who share similar knowledge and representation) and a relation of *membership* (actors who belong to the same organisation and who interact build up a relation of organisational proximity).

The question then is whether, and how, the spatial notion of accessibility can be completed by a concept of proximity in the organisation of flows of goods and information. Efficient circulation of goods and information requires, above mere accessibility, some form of organisational proximity between the firms.

3.3. Organisational aspects of accessibility: Strategies for efficient transportation

Efficient circulation of goods and information depends on the capacity to control flows, on their adaptation to production rhythms and constraints, on their reliability and flexibility, as well as on the efficiency of the associated flows of information.

The strategies used by producers to achieve organisational proximity in circulation of goods and information cover a variety of means. Among these strategies, accessibility is hardly ever a determinant or a strategic means. Only a few cases of very recent plants obey to the logic of optimal location on the infrastructure network (location on a node). Accessibility is usually satisfying, and sufficient time accessibility is guaranteed even with locations that are, from the theoretical standpoint, far from optimal.

With regard to our industry survey, we can identify two major strategies in the field of circulation of inputs and outputs in production systems: the search for flexibility and the management of associated flows of information.

a. The search for flexibility in transportation and logistics

As a matter of fact, strategies directed towards flexibility of production systems rely at least as much on the flexibility of transportation and logistics than on flexible production in the strict sense. The principal strategy used by producers is the total contracting out of generic goods transportation. This strategy relies on the extreme flexibility of goods transportation by road. Generic transportation services are available at very low cost, since the structure of the transport sector is atomistic and characterised by strong, partly even destructive, competition. The majority of firms in this sector are composed of only one driver, highly dependent in a hierarchical structure of subcontracting from first-tier large transportation or logistic firms. Price competition is fierce, partly due to deregulation on the European level.

Externalisation of transport operations is thus the dominant mode of organisation in most industries. The need for internalised, dedicated transport services applies only to a specific segment of the manufacturing firms (highly fragmented dispatching of goods that present specific constraints, totally non standardised, or impossible to standardise, shipments).

As for the organisation of logistics in general (management of inventories, operation of warehouses, management of distribution systems, final packaging), the level of externalisation is less advanced. In the food sector, however, there appears to be a trend towards externalisation, especially in those firms that sell mainly to the large-scale distributors.

Logistics operations are more and more often contracted out to a logistic integrator, who is able to achieve high productivity of circulation of goods and information through the mix of products and destinations. This strategy is characteristic of the producers that combine the industrial type of transformation with a more flexible mode of circulation. The contracting out of logistics allows to achieve a level of reactivity and flexibility impossible to attain in the traditional industrial mode of production.

The case where transportation and logistics appear to be strategic for the competitiveness of firms is interesting to understand the minor role of accessibility. More and more producers use the flexibility of transport services in order to render their large-scale industrial production flexible and adapted to differentiated demand conditions. Flexibility is here achieved, first, through the total contracting out of transportation, either to a large number of small firms on a spot market basis in order to pressure prices down, or to a single contractor, who is generally highly dependent because of dedicated assets and market pressure. Contractual arrangements, instead of location strategies, appear as a major means of establishing control and flexibility of circulation.

b. Reliability of goods transportation and associated flows of information

The reliability of goods transportation and its adaptation to production rhythms and constraints implies more and more the association of flows of goods and flows of information. One of the main strategies is based on standardisation of the exchange of information, which takes the form of electronic data interchange (EDI) systems between manufacturers and distributors. The standardisation of information flows, together with the progress in information technologies, allow circulation to take place in an extended geographical scale.

The implementation of EDI in the co-ordination of production and transport operations is not simply a technical issue. EDI requires organisational proximity and standardisation of flows. It can be defined as the standardised transmission of information directly between computers of different organisations. The automation of data transmission makes the complete

codification of information and transmission procedures necessary *ex ante*. Moreover, EDI is a non flexible co-ordination technique. In such, it appears to be more appropriate for situations of risk than for situations of radical uncertainty, where mutual adjustment and idiosyncratic interactions are vital.

Being a non flexible co-ordination technique, which requires investments in codification and standardisation, EDI tends to be implemented bilaterally more often than multilaterally. Industries where intra-industry relations are more important than inter-industry relations tend to use EDI more often. The same goes for industries that do not have mainly international relations. The codification appears to be easier to implement on a national and an industry basis.

Brousseau (1994) shows that EDI cannot simply be considered as an alternative means of communication, compared to telephone, fax and e-mail. EDI does not replace other media in the co-ordination of production. It transforms co-ordination and the organisation of production itself. The advantage of EDI for firms is not as much cost reduction or improved efficiency of electronic communication, but the necessary standardisation of co-ordination procedures *ex ante*, which has many impacts on the overall performance of the firms beside cost reduction in communication.

According to our industry survey, about 30 % of plants use EDI with one or several partners. In the food and chemicals industries the use of EDI is above the average. In all industries, the use of EDI appears to be related either to the fact of selling to the automobile industry or the large-scale distribution chains, who impose their communication standards, or to the existence of one major customer, supplier or logistics provider, with whom the plant works on a long-term basis. The major determinant is thus not access to networks or technologies, but the adaptation of organisation.

6. Conclusion

In this paper, we have examined the traditional view of transport economics, as expressed in the concept of accessibility. Accessibility appears to be severely limited as a tool for analysing the efficiency of circulation of goods and information in production systems. Conditions for efficient transportation go beyond time accessibility, which appears to be generally satisfactory. Circulatory strategies of firms mainly focus on achieving a high degree of reliability and control over a differentiated range of flows. In other words, "proximity" in circulation of goods and information appears to be more of an organisational than a geographical nature.

We do not argue here that transport costs and the role of transport infrastructure in the differentiation of space and the spatial organisation of production systems disappear completely. Their role remains strong in certain industries and subsectors. The error prevailing in transport economics is, in our view, to focus exclusively on this vision and to neglect a different role of transportation and space, prevalent in most of the more dynamic sectors of the economy.

Finally, we will have to address the question of possible integration of the organisational dimension into the concept of accessibility and, if possible, into comprehensive indicators. Two positions can be adopted in this respect: first, we can enlarge the concept of accessibility in order to include more organisational dimensions. On the opposite, the "spatial"

and the "organisational" vision of accessibility can imply two antagonist theories of the role of space in economic interactions and thus remain incompatible.

References:

- AMIN A., THRIFT N. (1993), "Globalisation, Institutional Thickness and Local Prospects", *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n° 3, p. 405-426
- ARABEYRE-PETIOT A. (1997), *Liaison interurbaine et localisation des activités économiques: Lock-in spatial et accessibilité*. 23rd Congress of the ASRDLF "Renouveau régional - renouveau urbain", Lille, September
- ASCHAUER D.A. (1989), "Is Public Expenditure Productive?" *Journal of Monetary Economics* 23, p. 177-200
- AUDRETSCH D.B., FELDMAN M.P. (1996), "R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production" *American Economic Review* 86(3), p. 630-640
- BATTEN D., CASTI J., THORD R. (eds.) (1995) *Networks in Action. Communication, Economics and Human Knowledge*. Heidelberg: Springer
- BELLET M., KIRAT T., LARGERON C. (eds) (1998), *Approches multiformes de la proximité*. Paris: Hermès
- BIEHL D. et alii (1986), *The contribution of infrastructure to regional development*. Final Report, Brussels: European Commission
- BROUSSEAU E. (1994), "EDI and inter-firm relationships: toward a standardization of coordination processes?" *Information Economics and Policy* 6, p. 319-347
- BROUSSEAU E., RALLET A. (1997), "Le rôle des technologies de l'information et de la communication dans les changements organisationnels", in: GUILHON B., HUARD P., ORILLARD M., ZIMMERMANN J.B. (ed.), *Economie de la connaissance et organisations*. Paris: L'Harmattan, p. 286-309
- BURMEISTER A., COLLETIS-WAHL K. (1997), "Proximity in production networks, the circulatory dimension", *European Urban and Regional Studies* 4(3), p. 231-241
- CAPELLO R., NIJKAMP P. (1996), "Telecommunications technologies and regional development: theoretical considerations and empirical evidence" *Annals of Regional Science* Vol. 30 no. 1, p. 7-30
- CAPELLO R., GILLESPIE A. (1994), "Communication infrastructure and possible future spatial scenarios", in: CUADRADO-ROURA J.R., NIJKAMP P., SALVA P., *Moving Frontiers: Economic Restructuring, Regional Development and Emerging Networks* Aldershot: Avebury, chapter 10, p. 167-191
- CHATELUS G. (1997), *Accessibilité interrégionale. Théorie et exemple d'application à l'échelle européenne*. INRETS Research Report no. 217, June
- COLLETIS G., PECQUEUR B. (1993), "Intégration des espaces et quasi-intégration des firmes: vers de nouvelles rencontres productives", *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* no. 3, p. 489-508
- DE CRECY R. (1979), "Quelques réflexions sur l'accessibilité", *Cahiers Scientifiques du Transport* vol. 1, p. 18-32

- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (1976), *Social and Economic Effects of Highways*. Washington D.C.: U.S. Department of Transportation
- FUJITA M., THISSE J.F. (1997) "Economie géographique, problèmes anciens et nouvelles perspectives", *Annales d'Economie et de Statistique* n° 45, p. 37-87
- GIFFORD J.L. (1994), *Non-incremental infrastructure improvements and uncertainty: Insights from increasing return economics*. AEA Congress "Econometrics of transportation", Calais, january
- GRAMLICH E.M. (1994), "Infrastructure investment: a review essay" *Journal of Economic Literature* 32, p. 1176-1196
- GRANOVETTER M. (1978), "The Strength of Weak Ties", *American Journal of Sociology* 78(6), p. 1360-1380
- HAKANSSON H. (ed.) (1987) *Industrial Technological Development. A Network Approach*. Routledge, London
- HANSEN W.G. (1959), "How accessibility shapes land-use", *Journal of the American Institute of Planners* vol. 25, p. 73-76
- HURIOT J.M., PERREUR J. (1990), "Distances, espaces et représentations. Une revue." *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* 2, p. 197-237
- HURIOT J.M., PERREUR J. (1994), "L'accessibilité", in Auray, Bailly, Derycke, Huriot (ed.), *Encyclopédie d'économie spatiale*, Paris: Economica, Chap. 7, p. 55-59
- IZQUIERDO, MONZON (1992), *Infrastructure capacity and network accessibility*, Paper presented at the 12th International Symposium of the ECMT, Lisbon, May
- JAYET H., PUIG J.P., THISSE J.F. (1996), "Enjeux économiques de l'organisation du territoire" *Revue d'Economie Politique* 106(1) janvier-février 1996, p. 127-158
- JOHANSSON B., KARLSSON C., WESTIN L. (eds.) (1994) *Patterns of a Network Economy*. Heidelberg: Springer
- KOENIG G. (1974), "Théorie de l'accessibilité urbaine", *Revue Economique* no. 2, p. 275-297
- KRUGMAN P. (1991) *Geography and Trade*. Cambridge: MIT Press
- LUNDVALL B.A. (ed.) (1992), *National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Pinter
- LUNG Y. (ed.) (1997), *Organisation spatiale et coordination des activités d'innovation des entreprises*. Research Report (2 vol.), Paris: Commissariat Général au Plan, October
- MOATI P., MOUHOUD E.M. (1992), *Les transports et les télécommunications dans l'arbitrage entre modes d'organisation de la production*. PREDIT Research Report, decembre, Paris
- NIEMEIER D.A. (1997), "Accessibility: an evaluation using consumer welfare", *Transportation* 24, p. 377-396
- RALLET A. (1993), "Choix de proximité et processus d'innovation technologique" *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* no 3, p. 365-386
- RALLET A. (1997), *L'impact des technologies de l'information et de la communication sur la coordination spatiale des activités de recherche et d'innovation*. Paper presented at

the 33rd Congress of the French speaking section of RSA (ASRDLF), Lille, September 1-3, 15 p.

RIETVELD P., BRUINSMA F. (1998), *Is Transport Infrastructure Effective? (Transport Infrastructure and Accessibility: Impacts on the Space Economy)*. Heidelberg: Springer

SPIEKERMANN K., WEGENER M. (1996), "Trans-European Networks and Unequal Accessibility in Europe", *EUREG 4*, p. 35-42

VICKERMAN R., SPIEKERMANN K., WEGENER M. (1995) *Accessibility and economic development in Europe*. Paper presented at the ESF/EC Euroconference 'European Transport and Communication Networks: Policies on European Networks', Espinho, Portugal, April,