

**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"<sup>1</sup>.

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**<sup>2</sup>. 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**

---

<sup>1</sup> 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).

<sup>2</sup> 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**<sup>3</sup>. 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

---

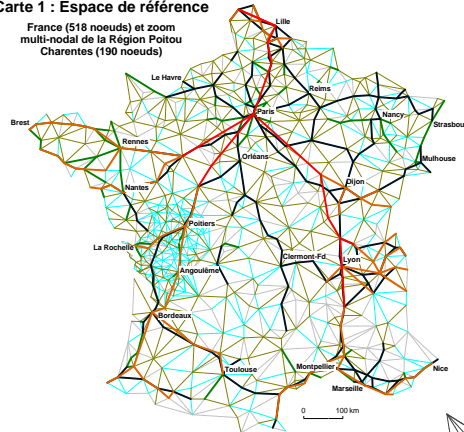
<sup>3</sup> Voir entre autres LANTNER (1974:178-190) et HARARY *et al.* (1968).

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

**Carte 1 : Espace de référence**

France (518 noeuds) et zoom  
multi-nodal de la Région Poitou  
Charentes (190 noeuds)



Légende carte 1

**Binômes fonctionnels**

TGV sur :

- Voie nouvelle
- Voie classique

Automobiles sur :

- Autoroute 110 km/h
- Voie express 90 km/h
- Route 70 km/h
- Route 60 km/h
- Route 50 km/h

**Carte 2 : Seuil d'accessibilité aux infrastructures rapides de 50 kilomètres**



Légende commune aux cartes 2 et 3

**Délimitation des segments défavorisés**

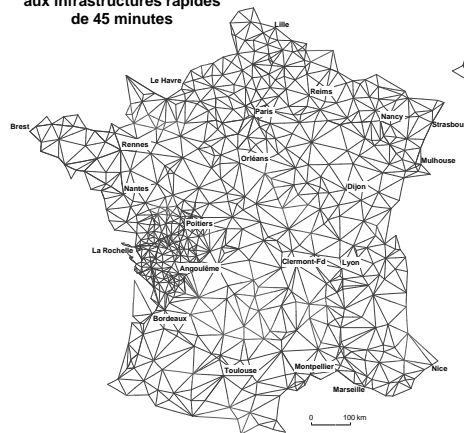
Non respect (différence positive) :

- du critère kilométrique
- du critère temporel

Respect (différence négative) :

- du critère étudié

**Carte 3 : Seuil d'accessibilité aux infrastructures rapides de 45 minutes**



Elaboration des cartes 2 et 3

1. Pour chaque noeud : calcul de la différence absolue entre la longueur du chemin minimal à destination du noeud majeur\* le plus proche et le critère des 50 km ou des 45 min.
2. Report sur chaque arc routier de la couleur du noeud au prorata de sa valeur.

\* Sont considérés comme noeuds majeurs, les noeuds assurant la fonction de gare TGV (en site classique ou à grande vitesse) et/ou d'échangeur routier (voie express à 2 fois 2 voies) et/ou d'échangeur autoroutier.

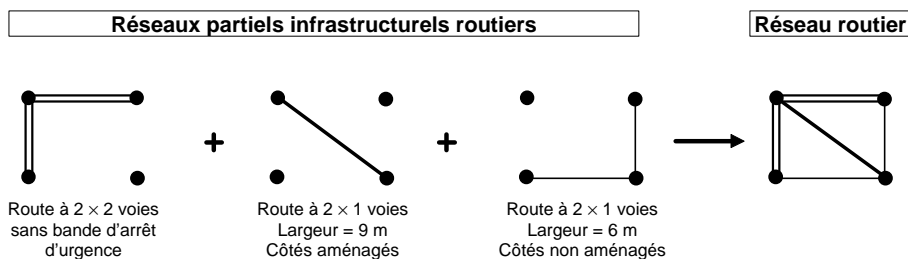
## MODELISATION DES RESEAUX DE TRANSPORT

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<sup>ème</sup>, 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 Minitel<sup>4</sup>.

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 **FLOYD**<sup>5</sup> 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'opérateur<sup>6</sup>. 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 DETOURS

### *GENERALISATION DU DEGRE DE CIRCUITE 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 la

---

<sup>4</sup> Principalement AMI de Michelin et ITI de la Prévention routière.

<sup>5</sup> Voir entre autres MINOUX, BARTNIK (1986:147-152).

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

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 :

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

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)".  $\nu$  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 :

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

$l_1$  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.

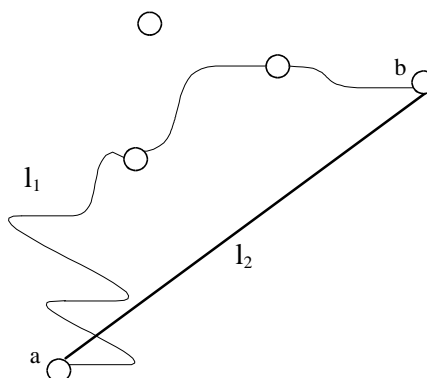
Partant de cette formule, le calcul de  $l_1$  peut être opéré sur la base de **deux logiques** distinctes : la logique de **minimisation des longueurs kilométriques de déplacement** et celle de **minimisation des temps de trajet**. Chacune d'elles renvoyant à un **comportement** spécifique des automobilistes 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 ( $l_1 = l_{km}(e_{min})$ )<sup>7</sup>,
- et les longueurs euclidiennes "**directes**"<sup>8</sup> ( $l_2 = l_{e.d.}$ ).

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 :

<sup>7</sup> 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.

<sup>8</sup> 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.

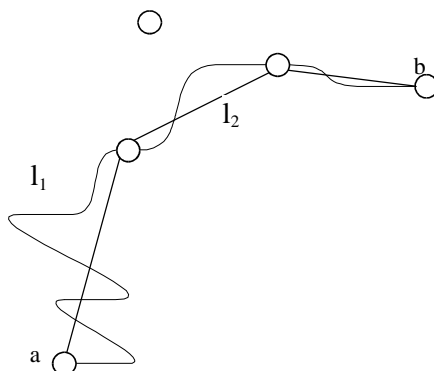
Il apparaît donc fondamental de pouvoir étudier ces deux facteurs séparément de manière à affiner l'interprétation des résultats obtenus précédemment.

### 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.

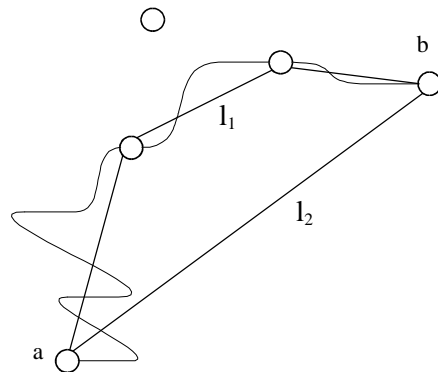
L'indicateur de circuité obtenu ici permet ainsi, pour tout nœud considéré comme origine, de connaître le détour moyen **dû à la seule sinuosité des voies** subi par un utilisateur des réseaux se rendant en chacun des autres nœuds reliés.

### 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  $Ci_{e,a}$  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'utilisateur 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 A L'ACHEVEMENT 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 destination<sup>9</sup>. 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.

---

<sup>9</sup> 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  $Ci_s(e_{km})$ ) et sur la Carte 6 pour les enchaînements d'arcs (calcul de  $Ci_{e.a}(e_{km})$ ).

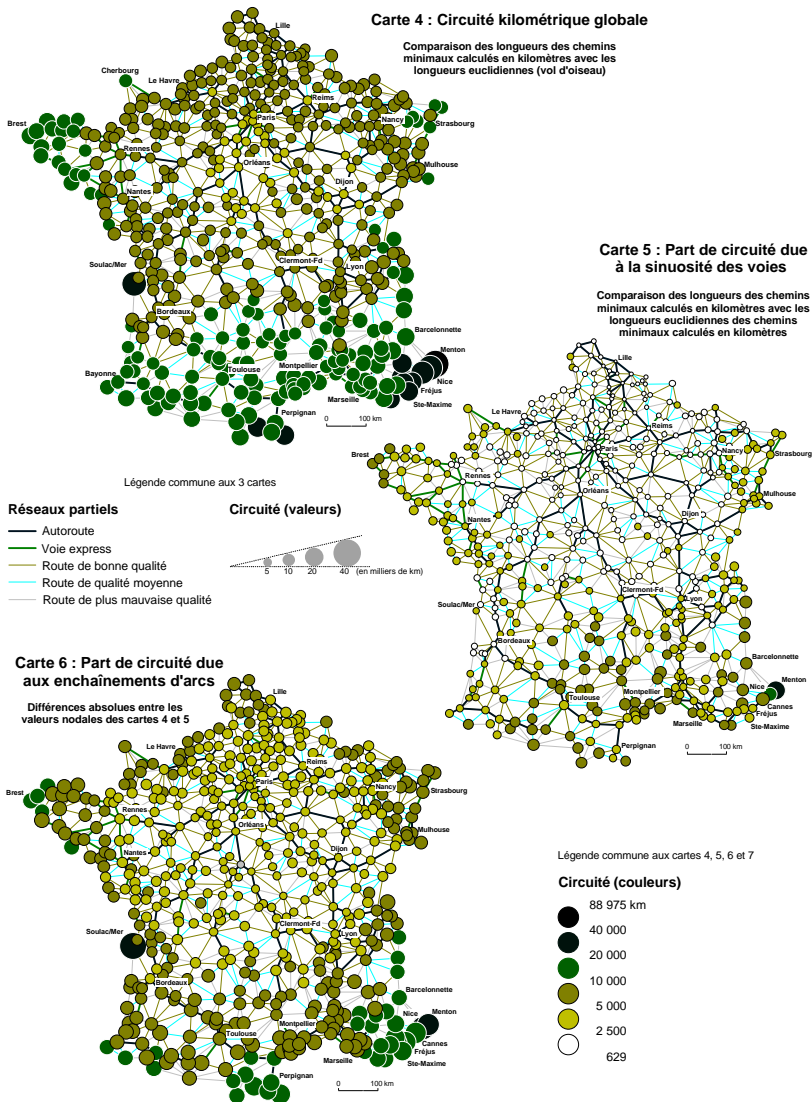
Ces deux dernières cartes permettent de confirmer un certain nombre d'éléments d'explication avancés lors de l'analyse de la Carte 4 et d'en préciser d'autres. Tout d'abord, la valeur élevée de la circuité kilométrique globale de Soulac-sur-Mer s'explique en grande partie, comme on pouvait s'y attendre, 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



Laboratoire du C.E.S.A. - Groupe Transports. Conception : L. Chapelon, Ph. Mathis, avec la collaboration de H. Baptiste, S. Larribe, A. L'Hostis, M. Mayaud et K. Serrini. © Copyright 1997.

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.

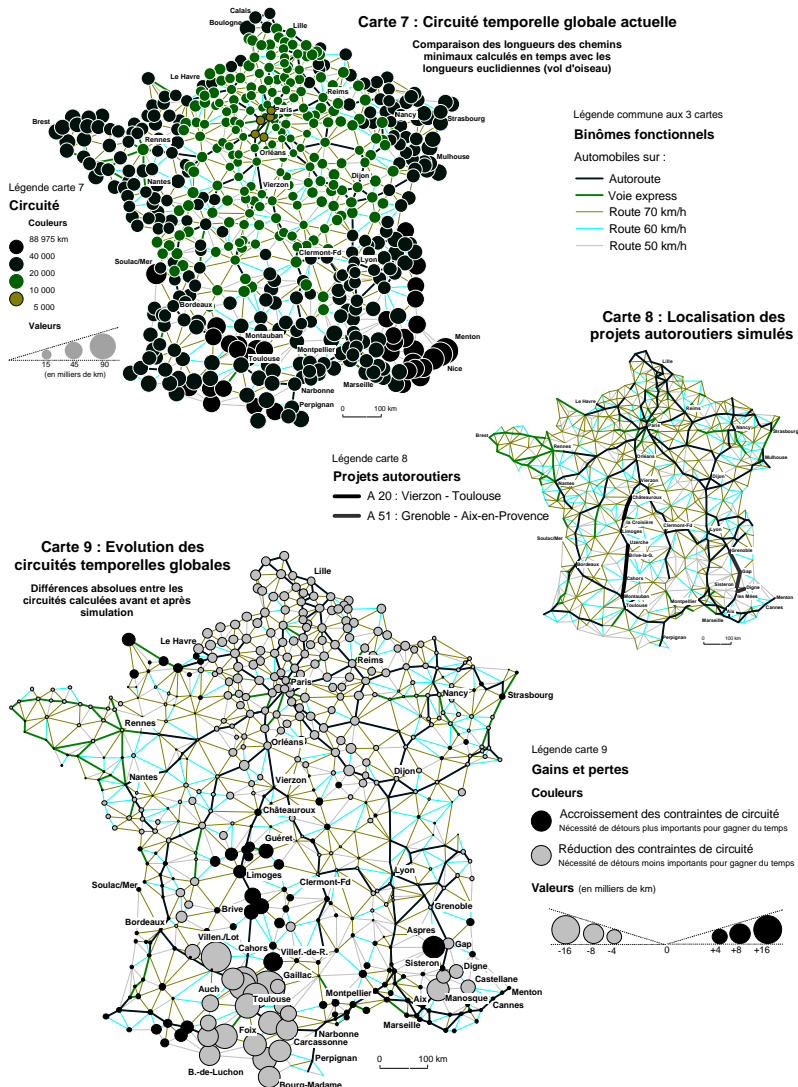
Les résultats obtenus avec cet indicateur **accentuent nécessairement le phénomène observé dans le cadre de la circuité kilométrique globale**, car la minimisation des temps de trajet impose, dans la plupart des cas, la réalisation de détours qui conduisent à l'accroissement de la longueur kilométrique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



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 circuité.

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 circuité 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'Azur<sup>10</sup>.

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.

---

<sup>10</sup> 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 rabattement 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 ITINERAIRES 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'ITINERAIRES 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 ComptIti, 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 A L'ACHEVEMENT 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.

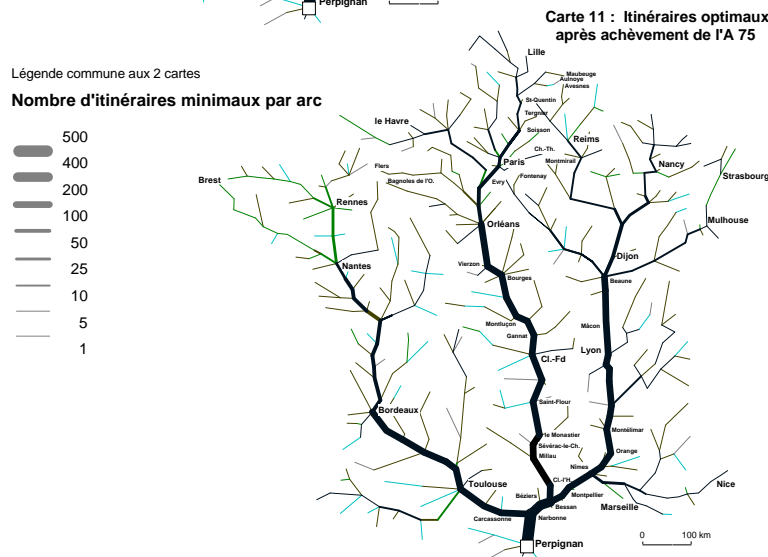
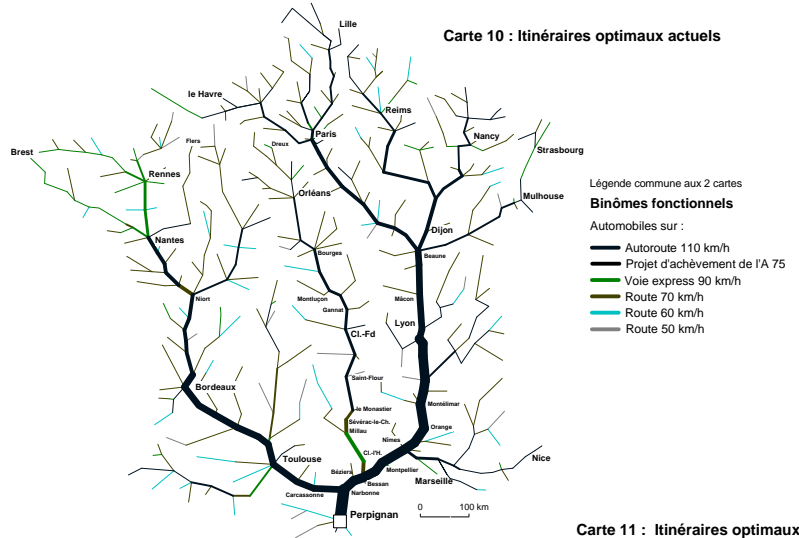
En ce qui concerne l'axe Millau - Saint-Flour - Clermont-Ferrand, il ne fait office que de ramification secondaire, mais l'état d'avancement actuel des travaux de l'A 75 lui confère, néanmoins, une extension Nord non négligeable. S'il est, en effet, préférable d'emprunter cet axe pour se rendre à Orléans ou à Dreux, il ne concurrence cependant que faiblement l'axe rhodanien puisque ni Paris, ni le Havre<sup>11</sup> ne peuvent être atteints de manière optimale par le Massif central.

---

<sup>11</sup> 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



Laboratoire du C.E.S.A., Groupe Transports. Conception : L. Chapelon, Ph. Mathis, avec la collaboration de H. Baptiste, S. Larribé, A. L'Hostis, M. Mayaud et K. Serhini. © Copyright 1997.

Il ressort donc qu'en termes d'itinéraires optimaux Nord-Sud, **l'axe A 71 - A 75 ne parait 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.

#### REFERENCES 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<sup>e</sup> éd. ; Collection  $\mu$ ).

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.