

TRANSPORTS ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE : CARTOGRAPHIE PAR IMAGES DE SYNTHÈSE D'UNE MÉTRIQUE RÉSEAU

Alain L'Hostis *

RÉSUMÉ. À partir d'une comparaison des vitesses de parcours sur plusieurs modes de transport, on construit une représentation en relief de l'espace-temps. On peut visualiser, sur cette surface complexe en trois dimensions, les distorsions de l'espace provoquées par les réseaux de transport rapides.

ABSTRACT. A 3-D representation of space time is built using a comparison of a distance rate between several means of transport as a starting point. On this 3-dimensional complex surface, space distortions due to fast transport networks can be seen.

RESUMEN. A partir de una comparación de velocidad de recorrido con diferentes medios de transporte, se ha construido una representación en relieve del espacio-tiempo. Se puede visualizar, en esta superficie completa en tres dimensiones, las distorsiones del espacio provocadas por las redes de transporte rápido.

• ESPACE-TEMPS • GRAPHE • IMAGE DE SYNTHÈSE • RÉSEAUX • TRANSPORTS

• SPACE TIME • GRAPH • COMPUTER GRAPHICS • NETWORKS • TRANSPORT

• ESPACIO-TIEMPO • GRAFISMO • IMAGEN DE SÍNTESIS • REDES • TRANSPORTES

Les représentations cartographiques occupent une position clé parmi les outils nécessaires à la prise de décision dans le domaine des transports, pour l'aménagement du territoire. On peut citer, entre autres, les cartes des temps d'accès d'un point vers tous les autres où l'information est ponctuelle (1). Ces mesures ponctuelles peuvent être reportées sur le réseau et fournir une information de nature linéique. Ces cartes peuvent alors être généralisées avec des isochrones qui fournissent une information zonale. Un indicateur plus complexe comme l'accessibilité généralisée, qui rend compte non seulement des temps d'accès, mais aussi de l'attraction gravitaire émise par les villes, peut constituer un apport capital dans l'aide à la décision. D'autre part, la recherche en analyse spatiale nous fournit des représentations qui cherchent à dépasser la carte conventionnelle et ses limites.

Colette Cauvin (2) nous propose des anamorphoses, c'est-à-dire des configurations spatiales où les points représentés sont positionnés suivant des critères non topographiques et, qui restituent des modèles cognitifs spatiaux.

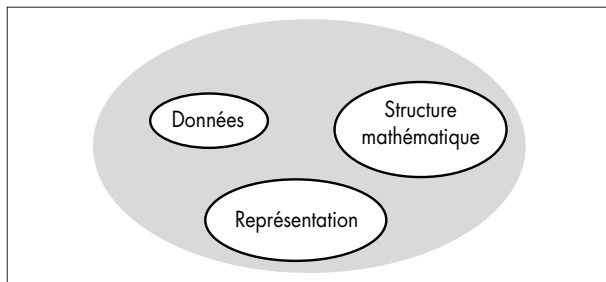
Toute modification des systèmes de transport, à quelque échelle que ce soit, transforme l'espace-temps. Les réseaux à grande vitesse, autoroute et surtout TGV, participent à cette transformation : «sous l'effet de l'accroissement des vitesses dans les transports, l'espace se transforme progressivement» (3). L'amélioration des moyens de transport procure des gains de temps et/ou de coût qui se traduisent par un rétrécissement de l'espace. Cependant, «les bénéfices sont loin d'être universels» (4) : il faut concevoir une contraction de l'espace qui ne soit pas homogène et qui

* Centre d'Études Supérieures d'Aménagement, Parc Grandmont, 37200 Tours, Tél./Fax : 47 36 70 23, Adresse électronique : lhostis@univ-tours.fr

intègre des dilatations locales car la «convergence est loin d'être uniforme, puisque l'implantation et l'amélioration des moyens de transport sont inégalement réparties» (5). Ainsi «l'espace, à certains endroits, se resserre tandis qu'à d'autres il est distordu» (6). Dans ce contexte, il semble important de construire des représentations du nouvel espace qui se dessine.

Quatre démarches de modélisation de l'espace

D'une manière générale, en analyse spatiale, on peut distinguer quatre démarches très différentes lors de la construction d'une représentation de l'espace. Ces quatre démarches se basent sur des données, elles permettent de créer un objet mathématique qui restitue ces données et enfin elles ouvrent la voie, plus ou moins aisément, à une représentation.



1. Les trois composantes de la modélisation de l'espace

1. *La surface parfaite* : on peut postuler l'existence d'une surface (ou d'un volume) qui représente l'espace d'une manière satisfaisante vis-à-vis du but recherché. Cette surface possède de préférence tout un ensemble de propriétés qui garantissent sa régularité : homogénéité, continuité, isotropie, etc. La surface offre une représentation explicite de l'espace. Le postulat de départ règle donc la question de la représentation. On retrouve dans ce schéma le concept de la plaine parfaite des économistes et des théoriciens de l'analyse spatiale.

2. *La fonction distance construite* : le point de départ, maintenant, est un tableau de nombres indiquant la longueur des trajets (ou la durée, le coût, etc.) entre toute une série de couples de points (7). On reconnaît alors l'importance du réseau de transport avec ses directions privilégiées, ses différents modes, etc. Il faut ensuite trouver la fonction distance (8) qui restitue le mieux les données. Ce type d'espace peut être rendu sous forme graphique. Le travail consiste alors à représenter une fonction mathématique sur

une surface à deux dimensions. C'est avec ce raisonnement que l'on a pu, par exemple, mettre à jour la pertinence de la métrique rectilinéaire dans les villes américaines.

3. *Les configurations* : dans la troisième famille de démarches, on part d'un tableau de nombres associés aux relations entre les points de l'espace. Ce tableau est du même type que celui qu'on utilise pour la construction de la fonction distance. Une approche possible consiste à rechercher une transformation de l'espace géographique (chorotaxique), ou de certains points du plan (9), en une configuration particulière (10) qui possède des propriétés connues (11). Dans cette démarche on construit simultanément la structure mathématique et la représentation. Remarquons que la surface qui porte la configuration peut être de nature relativement complexe : ainsi les champs de vitesse (12) de Shlomo Angel et Geoffrey M. Hyman sont des surfaces courbes à deux dimensions inscrites dans un espace euclidien à trois dimensions (13).

4. *La métrique réseau* : la métrique réseau est une structure composée de nœuds reliés entre eux par des liaisons. Chaque liaison est munie d'une valeur qui indique sa longueur (ou sa durée de parcours, ou son coût, etc.). On peut construire une métrique réseau (14) directement à partir de la matrice des relations. L'objet formel construit est métrique s'il vérifie les propriétés métriques. Se pose ensuite la question de la représentation.

C'est au sein de cette quatrième famille de démarches que se situe l'approche ici présentée.

Principe des cartes en relief

Principe général : nous fixons deux contraintes à la représentation du réseau :

- par souci de cohérence nous voulons construire une représentation où les longueurs visuelles (15) des liaisons soient proportionnelles à leurs longueurs effectives (que ce soient des kilomètres, des heures, etc.);
- nous souhaitons aussi conserver les positions relatives des villes, de manière à préserver la configuration topographique des lieux (16) présente dans les cartes conventionnelles, et ainsi réduire les perturbations visuelles lors de la lecture de la carte.

Entre deux points où une liaison existe nous traçons une ligne. La ligne est droite (rectiligne) si l'arc appartient au

mode de transport le plus performant. Dans le cas contraire, la ligne est brisée dans la troisième dimension, de telle sorte que sa longueur dans la représentation soit proportionnelle à sa longueur effective.

Cette «longueur effective» peut être la longueur en kilomètres, la durée de transport ou une fonction plus complexe de coût de transport généralisé. Les représentations proposées ici font appel aux durées de transport entre les villes de France continentale (17).

La structure complexe obtenue est en trois dimensions et elle est utilisée pour créer une surface en relief. Nous présentons ici des «vues» de cette surface complexe.

Sous l'angle de la théorie des graphes : la théorie des graphes est un outil très utile pour modéliser les réseaux de transport : pour Gabriel Dupuy, «la combinaison de l'approche systémique et de la théorie des graphes permet de décrire convenablement les réseaux» (18). Le graphe est une structure mathématique qui se compose de sommets et d'arcs (19). L'opération qui consiste à dessiner l'image d'un graphe s'appelle la «réalisation d'un graphe». Le processus décrit plus haut peut aussi être vu comme la réalisation d'un graphe dans un espace en trois dimensions. Une réalisation sous la double contrainte que la configuration des sommets soit homéomorphe de leur configuration topographique, et que la longueur des arcs soit proportionnelle à la durée nécessaire à leur parcours.

Les modes de transport : la vitesse de parcours sur route a été fixée à 70 km/h tandis que sur autoroute on atteint la vitesse moyenne de 110 km/h. Ces vitesses moyennes ont été établies en tenant compte de la qualité des infrastructures. Pour la construction de la représentation, nous avons tenu compte des réseaux de transport de manière homogène en considérant que la vitesse de parcours sur chaque liaison est identique. L'idée est de comparer les performances spatio-temporelles des modes de transport entre eux, quitte à effacer certains particularismes locaux.

Le TGV sur ligne nouvelle relie les villes à une vitesse moyenne de l'ordre de 220 km/h.

Les cartes (20)

La France continentale : la France continentale a été modélisée sous la forme de 189 sommets qui correspondent aux

principales agglomérations ainsi qu'aux nœuds importants des réseaux de transport. Entre ces sommets, les arcs routiers et les arcs de l'autoroute et du TGV composent un graphe qui modélise le réseau de transport.

Les cartes 1, 2 et 3 montrent l'espace-temps français. Les deux premières représentations sont à la même échelle temporelle tandis que la carte 3 est seulement un agrandissement de la carte 2. Sur la première carte on peut comparer la route et l'autoroute, tandis que sur l'autre on compare la route et l'autoroute avec le TGV.

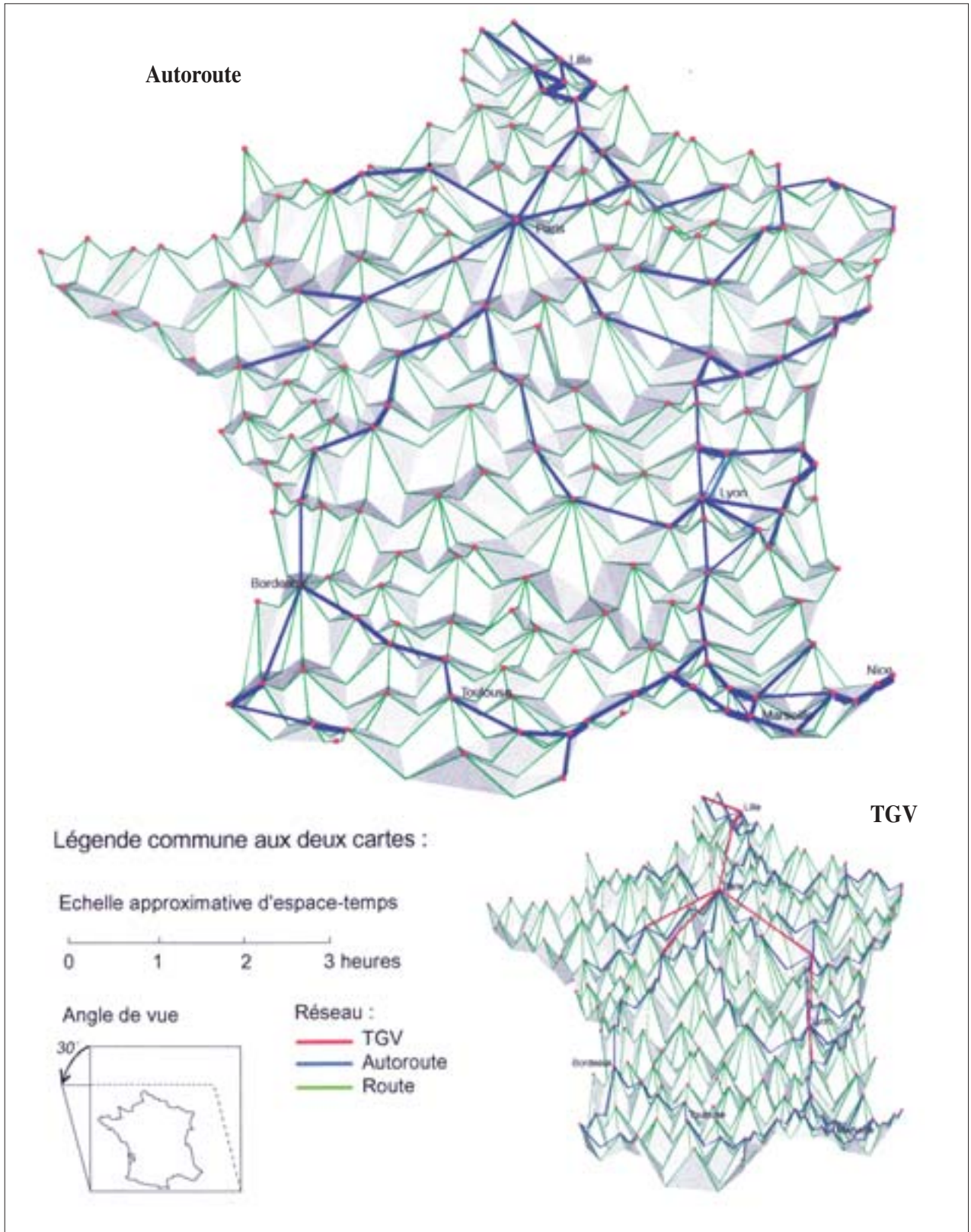
Toutes les cartes sont inclinées selon un angle de 30° qui permet de visualiser le relief. Cette valeur de l'angle permet de bien distinguer la forme du relief tout en limitant l'aplatissement horizontal de la configuration. De ce fait, la France garde la même largeur mais voit sa hauteur amputée de $(1 - \cos 30^\circ)$, ce qui la ramène à 86% de sa hauteur de départ.

Le relief de la première carte est marqué. En effet, le différentiel des vitesses est de l'ordre de $110/70 = 1.57$, ce qui signifie que, sur une même liaison, l'arc routier est 1.57 fois plus long que l'arc autoroutier.

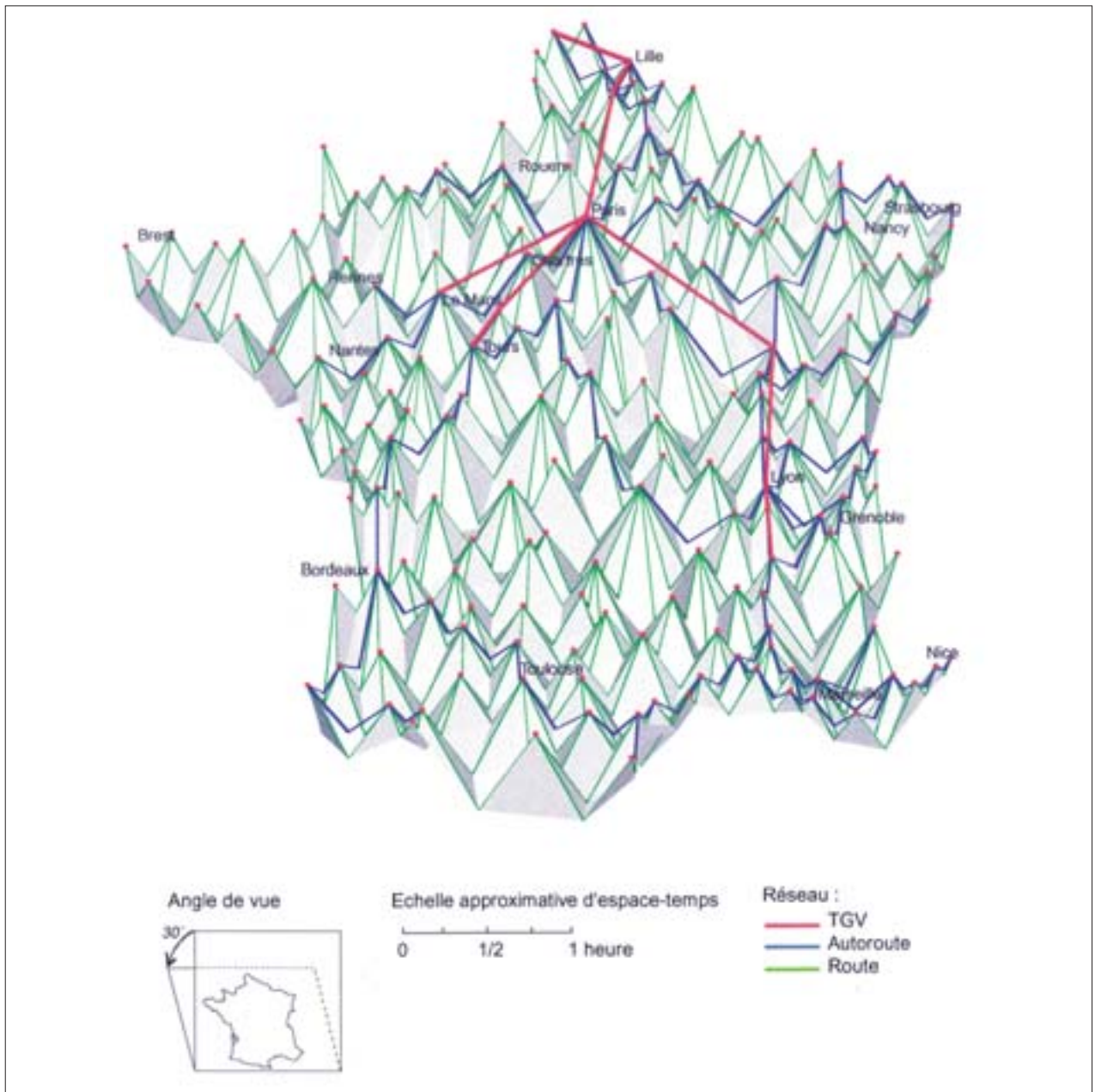
Sur la deuxième carte, le différentiel de vitesse entre le TGV et l'autoroute atteint maintenant la valeur de 2 (c'est-à-dire $220/110$). Il vaut 3.14 ($220/70$) entre le TGV et la route. Cela signifie que les arcs routiers ont une longueur plus de trois fois supérieure à la ligne droite du TGV. Le relief de la carte 2 est donc beaucoup plus prononcé.

Le processus qui a cours entre les deux premières cartes s'apparente à un «chiffonnement» de l'espace. Certains lieux se rapprochent de Paris : Lyon, Tours, Le Mans et Lille. Et, en même temps, tout le reste de l'espace ne connaît aucune évolution directe en termes de durée de transport.

L'effet tunnel du TGV : sur la carte 3, on peut voir le réseau TGV qui surplombe l'espace interstitiel. On a ainsi l'image d'un réseau qui ne dessert que quelques grandes destinations, du fait même que son mode de parcours est la grande vitesse. Et l'on observe avec François Plassard que «des transports somme toute rentables accouchent de régions-villes, avec ici ou là des espaces creux» (21). D'autres analogies permettent de décrire ces phénomènes : «à des axes et surtout, à vrai dire, des îlots — que certains nomment



2. Cartes 1 et 2 : le «relief» de l'autoroute et du TGV



3. Carte 3 : le «relief» du TGV

déjà les «TGVilles» — bien connectés, de moins en moins nombreux et de plus en plus puissants, s’opposeraient des aires interstitielles peu accessibles» (22). Les axes du TGV relient des pôles distants en ignorant les «creux» peu accessibles des espaces traversés. «Les nouveaux modes de transport rapides : autoroutes, lignes aériennes, TGV, réseaux câblés, etc. n’assurent une bonne connectivité qu’aux étages supérieurs de l’armature urbaine» (23). Entre ces

étages supérieurs, les lignes sont inaccessibles, dépourvues d’entrées comme de sorties, à la manière d’un tunnel, les espaces intermédiaires sont effacés (24).

L’image d’une perte d’accessibilité : le sort réservé à la ville de Chartres est symptomatique. Autrefois située sur une «grande ligne» du réseau SNCF, la ville de Chartres est devenue une gare de banlieue ignorée par le TGV. Son

accessibilité en a été réduite relativement à d'autres villes plus lointaines comme Le Mans, Vendôme ou Tours qui se sont rapprochées spectaculairement de la capitale. Sur la carte en relief, Chartres se retrouve sur un «pic» d'espace-temps qui figure une «mise à l'écart» dans un interstice du réseau. On peut ainsi vérifier la perte d'accessibilité de Chartres, alors que sur une carte en anamorphose cette ville aurait vu sa position s'améliorer. En effet le principe général des anamorphoses fait que la plupart des points de l'espace interstitiel bénéficient automatiquement des gains d'accessibilité des pôles principaux.

Superposition d'espaces : «Le maillage du territoire ne se traduit pas par la multiplication de nœuds de transport équivalents, mais plutôt par la superposition de réseaux aux performances différentes qui accentuent l'hétérogénéité des localisations desservies.» (25)

Les réseaux de communication produisent des espaces très différents par leurs structures, leurs modes de mise en relation, par leurs limites, etc. On parle alors d'espace «feuilleté» (26). Des espaces qui se superposent et se connectent à certains moments, tout en restant autonomes dans une certaine mesure. L'image de la dernière carte montre trois réseaux de transport qui s'étagent en couches superposées dans la troisième dimension et qui n'entrent en contact qu'aux principaux pôles de l'armature urbaine.

François Plassard décrit l'apparition, dans le sillage des nouveaux réseaux à grande vitesse, d'un «espace dualisé dont les composants obéissent à des logiques de fonctionnement totalement différentes» (27). Il y a d'une part l'espace des grandes villes et métropoles situées sur le réseau à grande vitesse, qui est appelé «espace réseau». D'autre part, il y a l'espace «banal» où «les notions de proximité, de continuité et de contiguïté ont encore un contenu correspondant aux espaces que l'on parcourt» (28), qui est l'espace régional environnant les grandes villes précédentes. Ces espaces peuvent être visualisés sur les cartes en relief. Chacun d'eux s'inscrit suivant un relief propre : le TGV est dans le plan des villes, là où la ligne droite dessine le chemin le plus rapide mais où l'espace se réduit à un ensemble de points (l'espace-réseau), tandis que les autres réseaux épousent un relief d'autant plus prononcé qu'ils sont peu accessibles (espace banal). L'espace de la route est une surface continue mais tourmentée, moins accessible mais où le concept de proximité conserve un sens plus palpable.

L'inégalité triangulaire : on peut constater visuellement sur la carte 3 que la longueur de la liaison en TGV entre Tours et Paris additionnée de la longueur de la liaison entre Paris et Lyon est plus courte que la somme des longueurs des segments brisés composant le chemin «direct» (euclidien) par la route Tours-Bourges-Lyon.

Nous avons obtenu une représentation du graphe du réseau de transport qui est cohérente en termes de durée, avec des modes caractérisés par des vitesses différentes ; et ce, bien que les positions relatives géographiques des lieux aient été conservées.

À partir des durées de transport par différents modes, une distance réseau a été construite. Cette distance réseau possède les propriétés d'unicité, de positivité, de symétrie, ainsi que la propriété de l'inégalité triangulaire. Les cartes en relief sont une représentation graphiquement cohérente de cette distance réseau car elles en vérifient les propriétés.

Un espace virtuel : une personne empruntant une liaison à grande vitesse perçoit l'espace selon l'étalon de mesure d'espace-temps donné par la vitesse de déplacement (220 km/h). Cet espace est contracté, à la manière des cartes par anamorphose. Cette contraction s'accompagne, dans les cartes en relief, d'un froissement qui permet de conserver les longueurs des liaisons entre les nœuds. Les nœuds non accessibles par liaison à grande vitesse sont ainsi rapprochés, mais de manière virtuelle, car les temps d'accès restent constants.

Conclusion

On trouve dans les discours sur l'espace un grand nombre de métaphores qui sont utilisées pour évoquer les perturbations de l'espace-temps. Les représentations en relief d'espace-temps construisent une image qui permet d'élaborer un discours descriptif dont les termes font écho à ces métaphores. Cet outil produit des éléments qui peuvent éclairer sous un jour nouveau certains phénomènes qui ont lieu lors de la modification des réseaux de transport. En ce sens, les représentations en relief peuvent constituer un outil d'aide à la décision dans le domaine des transports et de l'aménagement du territoire.

Les cartes en relief se construisent à partir d'un ensemble de données (les localisations, les distances en kilomètres et les vitesses moyennes) qui sont traitées automatiquement

par un procédé informatique produisant une juxtaposition de formes graphiques élémentaires. Tout ce processus crée une image de synthèse. Les représentations en relief sont synthétisées à partir d'un savoir et nous donnent accès à un nouveau savoir.

- (1) Un des avatars de ce type de représentation est «l'arbre à boules», utilisé à la SNCF, qui montre, sur les nœuds du réseau ferré, les temps d'accès avant et après réalisation de l'infrastructure.
- (2) Colette Cauvin, 1984.
- (3) François Plassard, 1991, «La révolution TGV : un nouveau système de transport», p. 23, in *TGV et aménagement du territoire : un enjeu majeur pour le développement local*.
- (4) Pip Forer, 1978, p. 241.
- (5) Jean-Claude Muller, 1979, p. 223.
- (6) Jean-Pierre Dupont, 1991, «Un outil au service de l'aménagement du territoire», p. 25, in *TGV et aménagement du territoire : un enjeu majeur pour le développement local*.
- (7) C'est un tableau à double entrée, c'est-à-dire une matrice.
- (8) La fonction distance permet la construction d'un espace métrique, c'est-à-dire un ensemble muni des propriétés de positivité, d'unicité, de symétrie et de l'inégalité triangulaire.
- (9) Ces points sont obtenus par un processus de discrétisation.
- (10) Le plus souvent on recherche une configuration sur une surface euclidienne.
- (11) Bernard Marchand, 1973.
- (12) «Velocity fields».
- (13) Shlomo Angel, Geoffrey M. Hyman, 1972.
- (14) Selon la cohérence et la nature des données, et selon le choix du modélisateur, il peut s'agir d'une métrique réseau faible, c'est-à-dire une métrique non symétrique.
- (15) La notion de longueur visuelle est à rapprocher de celle de distance graphique introduite par Jean-Claude Muller (1979, p. 224.) pour désigner la fonction de distance dont on peut disposer sur une carte. Il définit la distance graphique sous une forme euclidienne; la longueur d'un segment tracé entre deux points de la carte est directement proportionnelle à la longueur du chemin qui les relie.
- (16) Selon la projection conique de Lambert pour l'application qui est traitée ici.
- (17) La France continentale inclut tous les lieux du territoire qui sont accessibles via les réseaux de transport considérés; les îles reliées par pont routier font donc partie de la France continentale.
- (18) Gabriel Dupuy, 1994, «Réseaux», p. 149, in *Encyclopédie d'économie spatiale : concepts - comportements - organisations*.
- (19) Les «sommets» et les «arcs» des graphes correspondent aux «nœuds» et aux «liaisons» des réseaux.
- (20) Les cartes présentées ici ont été réalisées avec le logiciel MAP, conçu par A. L'Hostis et Ph. Mathis au laboratoire du Centre d'Etudes Supérieures d'Aménagement.
- (21) François Plassard, 1995. «Les Régulations, les nouveaux équilibres : la régulation économique», p. 193, in *Se déplacer au quotidien dans trente ans*.

- (22) Jean-Jacques Bavoux, Jean-Bernard Charrier, 1994, p. 64.
- (23) Pierre-Henri Derycke, 1994. «Réseaux urbains», p. 347, in *Encyclopédie d'économie spatiale : concepts - comportements - organisations*.
- (24) François Plassard, 1991. «La révolution TGV : un nouveau système de transport», p. 2, in *TGV et aménagement du territoire : un enjeu majeur pour le développement local*.
- (25) Jean-Pierre Puig, Jacques-François Thisse, Hubert Jayet, 1995, «Enjeux économiques de l'organisation de l'espace français : 1. Polarisation et concentration, 2. L'Aménagement du territoire», p. 38, in *Développements méthodologiques en économie spatiale*.
- (26) Michel Bonetti, 1994, «Réseaux de communication et recomposition de l'espace», p. 181, in Séminaire «Villes et Transport» du Plan Urbain.
- (27) François Plassard, 1991, «La révolution TGV : un nouveau système de transport», p. 24, in *TGV et aménagement du territoire : un enjeu majeur pour le développement local*.
- (28) *Ibidem*.

Références bibliographiques

- ANGEL S., HYMAN G.M., 1972, *Urban spatial interaction. - Environment and planning*, GB, vol. 4, p. 99-118.
- BAVOUX J.-J., CHARRIER J.-B., 1994, *Transport et structuration de l'espace européen*, Paris, Masson (Géographie), 222 p.
- CAUVIN C., 1984, *Espaces cognitifs et transformations cartographiques*, 304 p. dactyl., thèse de doctorat d'État, Lettres et Sciences Humaines, Strasbourg.
- Développements méthodologiques en économie spatiale*, 1995, Lille : CESURE/Plan urbain, 272 p.
- Encyclopédie d'économie spatiale : concepts - comportements - organisations*, 1994, sous la dir. de J.-P. Auray, A. Bailly, P.-H. Derycke, J.-M. Huriot, Paris, Economica (Bibliothèque de science régionale), 427 p.
- FORER P., 1978. - «A Place for plastic space». *Progress in human geography*, vol. 2, n° 2. - p. 230-267.
- MARCHAND B., 1973, «Deformation of a transportation surface», *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 63. - p. 507-521.
- MULLER J.-CL., 1979, «La cartographie d'une métrique non euclidienne, les distances-temps», *Espace géographique*, vol. 8, n° 3, p. 215-227.
- Se déplacer au quotidien dans trente ans*, 1995, Actes du colloque de Paris des 22 et 23 mars 1994, Paris, La Documentation Française, 234 p.
- Séminaire «Villes et Transport» du Plan Urbain, 1994, Paris, mai 1991-juin 1994, *Villes et transport*, tome I, séances 1 à 5, Paris : Plan Urbain, 442 p.
- TGV et aménagement du territoire un enjeu majeur pour le développement local*, 1991, Paris : Syros/alternatives (T.E.N.), actes du colloque du Creusot des 11 et 12 oct. 1990, *TGV et aménagement du territoire*, 153 p.