

**LA NODALITÉ : UN CONCEPT FONDAMENTAL  
DE L'ORGANISATION DE L'ESPACE.  
INTRODUCTION AU DOSSIER**

JEAN-JACQUES BAVOUX

THÉMA

UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE

Les Journées de Géographie des Transports 2004, organisées par la Commission de Géographie des Transports du Comité National Français de Géographie et par l'Université de Cergy-Pontoise, portaient sur les « Approches théoriques et pratiques de la nodalité ». Le concept de nodalité désigne l'ensemble des caractères relevant de la morphologie, des fonctionnements et des dynamiques des nœuds de transports, quelle que soit leur taille et quels que soient le ou les modes de déplacement considérés, du modeste croisement de chemins vicinaux à la métropole « globale ».

Il est évident que la nodalité est non seulement au cœur de la géographie des circulations, mais aussi au cœur de la géographie tout court puisqu'elle est partie prenante de la plupart des processus spatio-fonctionnels (interfaces, diffusions, mobilités, concentrations, hiérarchisations, etc.). Le colloque de Cergy, riche d'une vingtaine de papiers dont seule une sélection figure dans ce dossier, s'attaquait donc à une thématique aussi vaste qu'essentielle et beaucoup de questionnements y ont été abordés : comment évaluer et mesurer

la nodalité ? comment analyser les configurations nodales, en établir des typologies, voire des modèles ? comment expliquer les genèses, les localisations, les mutations, les dysfonctionnements des points nodaux ? comment combiner nodalité, accessibilité, centralité et attractivité ?, etc. Compte tenu de la richesse et de la complexité de toutes ces problématiques, il nous a semblé indispensable de proposer un premier texte introductif synthétique présentant les grandes lignes du « métabolisme » des points nodaux.

## 1. MORPHOLOGIE NODALE

### 1.1. POINTS, LIGNES OU SURFACES ?

Instinctivement, parce qu'en géométrie le croisement de deux lignes détermine un point, les géographes assimilent à cette forme les nœuds de transports, c'est-à-dire tous les lieux où se connectent au moins deux voies de circulation. Ils parlent de points nodaux ou de points-de-réseau et, pour les représenter sur les cartes, ils utilisent différentes variétés de figurés punctiformes. Pourtant la nodalité peut également relever des deux autres grandes catégories formelles qui structurent l'espace, les lignes et les surfaces.

On voit d'abord se dessiner de véritables nodalités linéaires, ce que traduit notamment l'image classique de la « colonne vertébrale » d'un pays (le Nil pour l'Égypte, l'axe directeur Quito-Guyaquil pour l'Équateur, etc.). Cette configuration caractéristique est notamment mise en évidence dans le modèle des corridors de WHEBELL (1969), avec, dans les sections aval de grandes vallées fluviales, des coalescences alignées et plurimodales de voies parallèles et de nœuds de transports en chapelet.

Par ailleurs, tout point nodal, même un modeste rond-point routier, occupe une certaine surface. Le point Roissy de la carte des aéroports français correspond en réalité à une superficie de 3 254 ha à la structure extrêmement complexe. Plus largement encore, un regroupement de points nodaux peut transposer la nodalité au niveau aréal. Ainsi décrit-on, par exemple, des « régions portuaires », zones de dimensions variables, dotées de plusieurs ports ayant un certain nombre de points communs et dont la vie, la vocation, le devenir relèvent largement de la vie maritime. Mais à l'inverse et malheureusement, on évoque souvent avec trop de légèreté de prétendues « régions carrefours ». En effet, l'affirmation qu'une aire offre plus de nodalité que les autres à tel ou tel échelon spatial -du quartier urbain au sub-continent- devrait toujours reposer sur une rigoureuse démonstration, appuyée sur une batterie pertinente d'indicateurs spécifiques de densités, d'ouvertures et d'intensités circulatoires. S'il est indéniable qu'au sein des territoires, certaines aires assument des fonctions de centres de gravité des transports tandis que d'autres restent des angles morts, encore faudrait-il définir scientifiquement et mesurer précisément ces différentiels aréaux de nodalité.

## 1.2. NOMBRE DE BRANCHES

Un nœud se caractérise d'abord par le nombre de ses branches (lignes pour un arrêt de bus, routes nationales pour une ville, etc.), c'est-à-dire, dans la théorie des graphes, le degré du sommet (nombre d'arcs incidents). Trois morphologies doivent être distinguées. Les bifurcations sont des nœuds à trois branches et leur succession construit des réseaux arborescents, par exemple les systèmes d'entonnoirs emboîtés par lesquels des axes de transport convergent pour franchir un obstacle, profiter d'un couloir ou d'un point de transbordement, etc. Les carrefours sont des nœuds à quatre branches dont la répétition aboutit à des réseaux quadrillés que l'on retrouve notamment dans les plans urbains en damier. Les étoiles sont des nœuds comportant plus de quatre branches (en particulier les six branches caractéristiques des réseaux associés aux pavages hexagonaux mis en évidence par le modèle des lieux centraux).

Il est possible de préciser la configuration nodale en mesurant à l'aide d'indices de dispersion les rapports de forces entre les différentes branches, tant pour les équipements que pour les trafics, afin d'établir des degrés d'isotropie ou d'équilibre nodaux. On peut aussi classer les nœuds en fonction du jeu des différents modes en présence, depuis les organismes monomodaux (triaux ferroviaires) jusqu'aux puissants complexes multimodaux (grands aéroports), voire pan-modaux (métropoles portuaires). Enfin, il est également intéressant de distinguer les entrées, les sorties et les transits afin de mieux discerner si les nœuds sont à tendance émettrice ou réceptrice dominante, etc.

## 1.3. HISTOLOGIE NODALE

Un nœud n'est pas un point neutre et inconsistant, mais un système qui réceptionne, connecte, gère et émet des flux plus ou moins variés. Il faut donc décrypter minutieusement son anatomie microscopique, passer en revue ses constituants et ses mécanismes internes.

Ainsi pour comprendre comment fonctionne une ville en tant que nœud de communication, il ne faut pas se contenter de regarder comment s'y greffent les axes et flux interurbains de chaque mode. Il faut également observer comment s'effectuent les circulations nodales fines à l'échelon intra-urbain, puis au niveau de ses diverses cellules en décomposant les fonctionnements internes de l'aéroport, des stations de métro, des livraisons de marchandises dans les quartiers commerçants, etc. L'objectif, grâce à ces analyses systémiques à focales variables, consiste à reconstituer l'ensemble des chaînes de transport interdépendantes qui irriguent le tissu du nœud urbain et d'en comprendre les fonctionnements, c'est-à-dire de faire de la physiologie nodale.

## 2. PHYSIOLOGIE NODALE

Comme toute ligne, un axe de transport est une suite de points. Mais certains de ces points se distinguent en acquérant une qualité particulière : la nodalité. Celle-ci est sous-tendue par quatre principes fondamentaux :

- il existe six fonctions nodales spatio-fonctionnelles
- tout nœud, par définition même, assume au minimum l'une des six fonctions
- tous les nœuds de transport ne possèdent pas forcément les six fonctions, mais chacun d'entre eux offre une combinaison d'un certain nombre d'entre elles
- certaines fonctions nodales, pour exister, nécessitent la présence obligatoire d'une ou de plusieurs autres fonctions.

### 2.1. LA FONCTION DE CONNEXION

Aucun réseau n'offre partout les moyens qu'il met au service du mouvement. Un nœud est d'abord un point d'interface entre deux ou  $n$  lignes d'un réseau, entre deux ou  $n$  réseaux, entre réseau et non-réseau, entre réseau et territoire. Il est point d'accès et/ou de sortie, organe de la connexion, lieu d'intermédiation où s'effectuent convergences et divergences et le vocabulaire des géographes est -trop ?- foisonnant à cet égard (articulation, synapse, charnière, pivot, plaque tournante et bien d'autres mots encore...). Plus sobrement, la théorie des graphes nous dit que le retrait d'un sommet, en supprimant le passage d'un segment à un autre, peut couper le graphe en sous-graphes isolés.

### 2.2. LA FONCTION D'ABRI

De l'abribus et du parking au refuge de montagne et à la rade portuaire, tout réseau a ses sites d'abri pour les véhicules, les voyageurs ou les marchandises. Toucher au port, longtemps, ce fut avant tout se mettre à l'abri et les havres se développaient souvent à côté de lieux de navigation difficile, par exemple les caps à franchir (comme à La Corogne). Le port idéal antique était une rade naturellement fermée par un goulet et protégée de tous les vents. Toujours on cherchait la protection de bancs de sable (Dunkerque), d'un lido (Venise), d'une flèche littorale (Barcelone, Gdansk, Gdynia), de récifs frangeants (Kingston, Honolulu, Vera Cruz) ou d'îles (écrans de l'île de Wight pour Southampton et Portsmouth, de l'archipel de Los pour Conakry, de l'île de Ré pour La Pallice).

### 2.3. LA FONCTION DE RELAIS

Entre son point de départ et son point d'arrivée, une voie de transport, quel que soit le mode, est généralement jalonnée par des relais. Ces points d'arrêt intermédiaires peuvent être nécessités par des contraintes techniques tant au

niveau des infrastructures (stations de pompage des oléoducs, stations électriques des chemins de fer) qu'à celui des véhicules (garages, bassins de radoub, ports d'avitaillement ou de soutage). Ils s'égrènent également pour assurer divers services aux personnes (le gîte et le couvert) ou aux marchandises (entreposage, conditionnement, commerce). Enfin ils sont également mis en place par les opérateurs de transport pour organiser leur travail, exercer leurs contrôles, prélever leurs revenus, assurer leurs pouvoirs de commandement, etc.

La distribution des relais le long des axes évolue sans cesse en fonction, notamment, des mutations technico-économiques. Ainsi par exemple, a-t-on vu, avec la diésélisation et l'électrification ferroviaires, disparaître les arrêts pour les approvisionnements en eau et en charbon, nécessaires au temps des trains à vapeur, tout comme les relais de traction où les locomotives changeaient selon les profils de lignes ou la nature des convois. Aujourd'hui, avec l'autonomie croissante des véhicules et la recherche forcenée de la vitesse, pour tous les modes de transport, les distances des étapes s'allongent et, pour le même parcours total, il faut moins de relais. Cette fonction se concentre sur quelques points de plus en plus privilégiés et de mieux en mieux desservis, tandis que l'effet tunnel et l'enclavement relatif s'accroissent dans les espaces intermédiaires qui ne sont plus que les supports inertes des transits.

#### 2.4. LA FONCTION DE RUPTURE DE CHARGE

Si les trois premières fonctions que nous venons d'évoquer relèvent fondamentalement de la continuité circulatoire, les trois suivantes font au contraire plutôt du point nodal un lieu de discontinuité, à commencer par la rupture de charge. En effet, celle-ci consiste à charger, décharger ou transborder des marchandises ou des passagers d'un véhicule à un autre.

Le transfert le plus simple peut s'effectuer entre deux véhicules du même mode, comme par exemple, dans les ports, le *transshipment*, transbordement entre deux navires. Celui-ci est nécessaire lorsque l'on veut pratiquer l'*interlining* ou le *cross-trading*, c'est-à-dire réaliser des connexions entre plusieurs lignes afin de démultiplier le nombre total de destinations accessibles. Les sites qui lient ainsi des axes relevant d'un seul mode de transport (intersection routière, échangeur autoroutier, confluent fluvial, triage ferroviaire...) ne devraient d'ailleurs pas être qualifiés d'interconnexions, comme on l'entend trop souvent, mais bien d'intraconnexions (ou de connexions tout court...). Cependant, au-delà de ces mouvements monomodaux, la rupture de charge s'accompagne communément d'une rupture de mode.

#### 2.5. LA FONCTION DE CHANGEMENT DE MODE

Cette séquence est extrêmement banale dans le fonctionnement des transports, depuis le piéton qui monte dans une rame de métro jusqu'au pétrole brut qui est injecté d'un navire pétrolier dans un oléoduc. Très

souvent en effet, un seul réseau de transport ne peut répondre à tous les besoins. L'invention de l'aéroglossier n'a pas éliminé la différenciation entre véhicules terrestres et maritimes et il est toujours impossible de faire pénétrer de gros poids lourds dans les lacis médiévaux de nos centres-villes.

L'indispensable diversification modale a entraîné et entraîne toujours, aux multiples points où se réalisent les greffes, l'émergence et le développement de sites d'échanges et de commutations, que l'on doit cette fois qualifier d'interconnexions, *stricto sensu*. Celles-ci ont tendance à se complexifier avec la multiplication des opérateurs et des demandes de la clientèle. Ainsi les plates-formes logistiques peuvent-elles aller, pour le fret en transit, jusqu'au *post-manufacturing* (contrôles de qualité, conditionnement, étiquetage, *code-barring*, finition de montage, etc.).

## 2.6. LA FONCTION DE CHANGEMENT DE PORTÉE SPATIO-FONCTIONNELLE

Un nœud permet aussi de connecter des réseaux qui fonctionnent à des échelons spatiaux différents. Différents systèmes de rabattement-éclatement (micro-réseaux) servent ainsi à grouper-dégrouper en un site unique les passagers ou le fret d'une aire donnée de taille restreinte, en organisant l'interface avec des transports à plus longue distance (macro-réseaux), dotés de points d'arrêt raréfiés mais assurant l'accès à des aires plus étendues.

Une gare, en connectant métros, trains de banlieue et trains de grandes lignes, met ainsi efficacement en relation des aires de circulation intra-urbaines, périurbaines et interurbaines. Un aéroport peut combiner liaisons domestiques et lignes internationales. Les techniques de *feederling* associent, par le biais des *mainports* et *gateways*, des navires de grande taille qui font peu d'escales (*mother ships*) et des navires caboteurs plus petits, capables de toucher, par des lignes locales ramifiées, les ports plus modestes (*feeder ships*). Ces correspondances génèrent évidemment de fructueuses fécondations réciproques des réseaux.

## 2.7. TOUTES CES FONCTIONS NODALES, LORSQU'ELLES EXISTENT, PRÉSENTENT DES CAPACITÉS INÉGALES

Ces processus de *feederling*, tout comme ceux du *hubbing*, sont tout à fait représentatifs des tendances lourdes actuelles à la concentration nodale. Ils nous rappellent que, bien entendu, les nœuds sont hiérarchisés parce que leurs activités sont inégales. Il importe donc de mesurer leurs capacités relationnelles respectives, niveaux d'équipement comme intensités de trafics, en utilisant pour ce faire une batterie d'indicateurs fonctionnels. Ceux-ci doivent en particulier permettre l'évaluation de deux grands ensembles de critères comparatifs, d'ailleurs très imbriqués.

La première de ces deux grandes composantes révélatrices de la puissance nodale est l'accessibilité, c'est-à-dire la plus ou moins grande facilité avec

laquelle le nœud peut être atteint à partir d'autres lieux. Elle est le résultat de déterminants nombreux et variés, en particulier spatiaux (connexité, connectivité, position relative du nœud par rapport aux territoires, aux champs, etc.) et économiques (quantité et qualité des services offerts). Elle doit bénéficier d'approches multiscalaires très précises. En effet, par exemple, l'accessibilité interurbaine théorique d'une agglomération considérée globalement comme une entité géographique, couvre en réalité des quantités d'accessibilités internes localisées et hétérogènes, correspondant à tels ou tels points particuliers de cette aire urbaine. Les innombrables séquences péri et intra-nodales de pré et post-acheminement, jusqu'à leurs plus intimes ramifications et cheminements, peuvent ainsi réduire considérablement l'accessibilité internodale, au fond très abstraite. Chacun sait bien aussi que l'accessibilité d'un même lieu varie d'un instant à l'autre, selon le mois, le jour ou l'heure.

Il faut également évaluer, deuxième composante essentielle, le niveau d'activité nodale. Cette expertise sous-entend la prise en compte de très nombreuses variables : volume et nature des trafics, origines-destinations des flux, extension du bassin de clientèle, degré de multimodalité, rapports de forces intermodaux, efficacité des combinaisons, offres de services, degré de fiabilité, etc. L'une des difficultés de cette approche consiste à repérer et distinguer les valeurs ajoutées directes (activité nodale *stricto sensu*), indirectes (entreprises qui utilisent les possibilités offertes par le nœud) et induites (dépenses des salariés « nodaux »). L'un des objectifs, *in fine*, devrait être de classer les nœuds sur une échelle allant des plus « passifs » (se contentant de canaliser et coordonner des transits bruts qui ne font que se côtoyer) jusqu'aux plus « actifs » (s'efforçant de tirer un parti maximal du passage des voyageurs ou des marchandises).

### 3. DYNAMIQUES SPATIO-FONCTIONNELLES NODALES

Les scénarios de nodogenèse (émergence d'un nœud de transports) et de nodolyse (effacement d'un nœud de transports) sont évidemment dépendants des réponses fournies ou non par tel ou tel lieu à l'une ou plusieurs des fonctions nodales utiles -sinon indispensables- aux activités circulatoires. Pour simplifier à l'extrême des processus à l'évidence multiformes, on peut, pour l'essentiel, rattacher l'ensemble des mécanismes aux interactions de la nodalité avec d'autres composantes majeures de l'organisation spatiale. Trois trames interfèrent tout particulièrement avec les dynamiques nodales : la rugosité, les intensités démographiques et économiques et enfin la réticularité elle-même.

#### 3.1. LA NODOGENÈSE

Pour un véhicule de transport, vaincre de la rugosité, c'est-à-dire franchir un obstacle quelconque, peut exiger des équipements spécifiques, voire la

présence de personnels adéquats et donc favoriser, en ce lieu, l'apparition de fonctions nodales. Même si c'est une banalité, il faut rappeler que les ports sont installés pour assurer la transition entre terre et mer tandis que les aéroports constituent l'outil d'interface entre terre et air. Cours d'eau ou montagnes, détroits ou isthmes, rapides ou gorges : tous ces passages plus ou moins délicats nécessitent des relais, des abris, des points de transbordement, etc. Les rugosités ne sont d'ailleurs pas seulement biophysiques : la traversée de fortes concentrations humaines, très pénalisante en matière de rentabilité et d'aménité des transports, suscite la mise en place de contournements et donc de nœuds périphériques (plates-formes logistiques, gares de connexion périurbaines, échangeurs autoroutiers des rocade).

Si les nœuds que nous venons d'évoquer naissent afin de faire face à des séquences négatives, d'autres peuvent au contraire résulter de conjonctions positives, lorsqu'ils sont situés au bon endroit et au bon moment par rapport à la répartition des aires productrices et consommatrices. Il est bien entendu que les dynamiques circulatoires et nodales, quel que soit l'échelon spatial considéré, ne sont pas le résultat de cette distribution, mais évoluent en interaction avec elles dans des processus congruents. Les variations de l'intensité circulatoire -et donc des localisations et hiérarchisations nodales- participent des fluctuations économiques globales, à court comme à moyen et long terme.

Enfin le semis nodal est également lié à des évolutions circulatoires et, plus précisément, à des logiques réticulaires. Les nœuds ne se disposent pas au hasard le long d'un axe de transport, mais répondent à des règles plus ou moins précises et contraignantes. Les chapelets métronomiques d'arrêts de bus ou de diffuseurs autoroutiers, les successions régulières de gares ou de ports fluviaux, les intervalles récurrents séparant les plates-formes logistiques ou fixant les contours des hinterlands portuaires en sont autant de manifestations. Le calcul, axe par axe, de divers indicateurs ciblés (distance moyenne inter-nodale, indice de dispersion nodale...) permettrait de progresser dans notre connaissance de ces interactions.

### 3.2. LA NODOLYSE

Il est évident que les déterminations qui contribuent à susciter les nodogenèses peuvent également entraîner des nodolyses. Un nœud de transports n'est pas éternel et chacun a en tête une longue liste de ports disparus, de gares désaffectées ou de villes-escapes abandonnées. Il en est ainsi, par exemple, des points nodaux liés au franchissement d'un obstacle. Que celui-ci s'atténue, voire disparaisse, et le nœud perd sa rente de situation. L'affaiblissement de l'obstacle peut être le fait de mutations techniques, tant des équipements (le tunnel de base qui remplace le col en altitude) que des véhicules (la locomotive plus puissante capable d'absorber des rampes plus fortes). Il peut survenir à la suite de mutations dans les courants d'échanges



(étapes routières longtemps « incontournables » mais abandonnées avec l'ouverture de l'autoroute parallèle, modes de transport délaissés par manque de rentabilité, escales pénalisantes supprimées, etc.).

Plus généralement, tout nœud doit intégrer les mutations technico-économiques des circulations et gérer en particulier les inter-adaptations entre les véhicules utilisés, les techniques de transport et sa propre politique d'équipement. Dans un contexte d'instabilité des trafics, les capacités d'ajustement, la volonté d'innovation et d'anticipation, la flexibilité des acteurs, entre autres, sont essentielles pour maintenir l'attractivité nodale.

### 3.3. DE LA NODALITÉ À LA NODOSITÉ

Divers phénomènes d'agrégation peuvent, éventuellement, accompagner une nodalité circulatoire. Pour ce degré supérieur de la complexification nodale, nous proposons le terme de nodosité. En effet, à la manière des indurations et renflements sur les racines ou sous la peau, de nombreuses interactions spatio-fonctionnelles ont la faculté de multiplier les activités sur le site nodal et d'animer des mécanismes relevant de la cristallisation et de la catalyse. Ces processus systémiques mettent prioritairement en jeu le quatuor nodalité-accessibilité-centralité-attractivité, mais font évidemment aussi intervenir beaucoup d'autres déterminants.

Les diverses évolutions sont congruentes. Les dynamiques urbaines, c'est-à-dire la concentration des hommes, des activités, des richesses et des pouvoirs, attirent évidemment les équipements de transport et les trafics. Mais l'inverse est tout aussi vrai. Selon diverses boucles de rétroaction, des différentiels favorables de capacités logistiques nourrissent la nodosité urbaine qui peut ainsi renforcer ses capacités fonctionnelles, y compris... en matière de transports. Comme on le voit très bien dans les modèles gravitaires, il existe de fortes interdépendances entre hiérarchisations urbaines et hiérarchisations circulatoires. Ainsi aujourd'hui, le petit club planétaire des « villes globales » constitue-t-il le stade supérieur -provisoire ?- des processus omniprésents de nodosité.

Cette exacerbation des concentrations nodales n'est pas sans poser de redoutables problèmes. Les recherches géographiques de morphologie et de physiologie nodales que nous venons d'évoquer s'accompagnent de travaux chaque jour plus nombreux concernant les pathologies qui affectent les nœuds de transports. Celles-ci font de plus en plus la une de l'actualité : pollutions atmosphériques, nuisances phoniques, embouteillages, complications de déplacement des « captifs » des transports en commun ou des handicapés, temps quotidiens de transport démesurés, difficultés de stationnement, blocages liés aux grèves, insécurité, risques d'attentat dans ces lieux névralgiques que sont les gares ou les aéroports, contestations des riverains d'infrastructures, etc.

Cette omniprésence, cette urgence des questions posées, et par conséquent la nécessité chaque jour plus vive de proposer des thérapies efficaces, exigent des géographes une amélioration permanente de leurs décryptages des processus de nodalité. Dans ce contexte, les quatre articles présentés dans ce dossier revêtent un grand intérêt, d'autant qu'ils couvrent un large champ en abordant la question à des échelons différents : niveau micro-régional (J.-L. MIGNOT), niveau national (V. FACHINETTI-MANNONE), niveau mondial (C. DUCRUET) et milieu spécifique des montagnes (X. BERNIER).

#### **BIBLIOGRAPHIE**

BAVOUX J. J. (à paraître) Le relais : une composante trop méconnue des réseaux de transport. In **Actes du colloque de Mâcon, 2005**, « Réseaux en question : utopies, pratiques et prospective ».

OLIVRO J. (2000) **L'Homme à toutes vitesses**. Presses Universitaires de Rennes.

STATHOPOULOS N., AMAR G., PENY A. (1993) Formes et fonctions des points-de-réseaux. **Flux**, n° 12, pp. 29-45.

STUDENY Ch. (1995) **L'invention de la vitesse, France, XVIIIe-XXe siècle**. Gallimard, 408 p. (Bibliothèque des Histoires).

VARLET J. (1991) **L'interconnexion des réseaux de transport en Europe**. ITA, Études et documents, n° 24.

VARLET J. (1992) Réseaux de transports rapides et interconnexions en Europe occidentale. **L'Information géographique**, n° 3, pp. 101-114.

WHEBELL C.F.J. (1969) Corridors : a Theory of Urban Systems. **Annals of the Association of American Geographers**, Vol. 59, n° 1, pp. 1-26.

ZEMBRI P. (1992) TGV-réseau classique : des rendez-vous manqués? **Transports urbains**, n° 75, pp. 5-14.