

L'intensité nodale, une évaluation de la performance de l'intermodalité dans les pôles d'échanges

Application à la gare de Besançon-Viotte

Cyprien Richer

CETE Nord-Picardie, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL),
Pôle de Compétences et d'Innovations CERTU « Transport du Quotidien »

cyprien.richer@developpement-durable.gouv.fr

Gilles VUIDEL

Laboratoire ThéMA, UMR 6049 CNRS-Universités de Franche-Comté et de Bourgogne, France

gilles.vuidel@univ-fcomte.fr

MOTS-CLÉS

Nodalité,
Accessibilité,
Intermodalité,
Pôle d'échanges,
Transports collectifs

RESUMÉ

L'aménagement de pôles d'échanges vise à faciliter les pratiques intermodales et à limiter les contraintes liées à la rupture de charge. Plusieurs leviers doivent être activés pour valoriser l'intermodalité : l'information multimodale, la tarification intégrée, l'aménagement fonctionnel et l'insertion urbaine sont autant d'éléments indispensables au bon fonctionnement des pôles d'échanges. Sans minimiser l'importance de ces différents aspects, cet article porte plus spécifiquement sur un autre levier tout aussi décisif pour la pratique intermodale : l'ajustement des offres de services horaires des différents opérateurs de transport public. Nous développons un indicateur élaboré par Beaucire (2004), l'intensité nodale, pour mesurer la qualité des correspondances et identifier les points de blocage et les marges de manœuvre pour améliorer la combinaison des offres de transports. La mise à disposition d'un outil opératoire alimentant une organisation des réseaux par nœud et non seulement par ligne contribue à une meilleure prise en compte de la « dimension station » face à la « dimension circulation » (Dupuy, 1992). Les résultats de ce travail démontrent que tous les modes présents dans un pôle d'échanges ne sont pas effectivement connectés, c'est à dire que les conditions minimales d'intermodalité ne sont pas toujours remplies.

KEY WORDS

Nodality,
Accessibility,
Intermodality,
Interchange station,
Public transport

ABSTRACT

The "nodal intensity", an intermodal performance assessment of the interchanges stations. Application to the train station Besançon-Viotte

The interchanges stations are to facilitate passenger intermodality and to limit transfer difficulty. Several possibility must be enabled to provide a passenger, using different modes of transport in a combined trip chain a seamless journey : intermodal services and multimodal information system, integrated fares, practical and urban interchange integration. Without minimizing the importance of these aspects, this paper concerns specifically timetables connections between different modes of transport. The method of "nodal intensity" (Beaucire, 2004) is enlarged to measure the quality of time connections and to understand how to limit waiting time in interchanges. The development of a quantitative assessment of public transport interchanges stations contributes to keep the hubs in better working order. This method was applied to assess interchanges inside the main train station of Besançon (France). The results of this work show that all modes present into interchange station are not really connected, ie that the minimum intermodality conditions are not always met.

1. Introduction

Dans les régions urbaines, la dimension multi-échelles de nos mobilités couplée à la diversification des systèmes de transports (notamment ferroviaires) suscite un intérêt croissant pour l'aménagement de pôles d'échanges. Ces aménagements visent à faciliter les pratiques intermodales en limitant les contraintes associées à la rupture de charge, encore perçue par l'utilisateur comme une épreuve pénalisante et inconfortable (Dobruskes *et al.*, 2011 ; Wardman *et Hine*, 2000). Pourtant, de nombreux obstacles, qu'ils soient physiques, tarifaires, fonctionnels ou institutionnels rendent difficiles les transferts intermodaux. Parfois, même lorsqu'un nouvel aménagement est inauguré, l'absence de démarche globale et de conception intégrée des pôles d'échanges ne permet pas de dépasser une « vision monomodale » de ces espaces hybrides (Richer, 2007a). Ainsi, le développement de la qualité des correspondances par l'amélioration de la signalétique, de l'information multimodale ou du confort des cheminements pédestres est devenu un enjeu clé des politiques de transports.

Cet article vise à améliorer la connaissance et l'usage de l'intermodalité dans les nœuds du transport terrestre de voyageurs. Notre regard concerne plus spécifiquement la qualité des correspondances dans les pôles d'échanges et l'ajustement de l'offres de services horaires des différents opérateurs de transport public. Même si des actions se développent pour optimiser la combinaison des modes de transports¹, la coordination horaire peut toujours être considérée comme le « parent pauvre » de l'intermodalité. Aujourd'hui, les recherches dans le cadre du PREDIT² n'ignorent plus cette dimension, mais les contributions sur l'intermodalité demeurent davantage tournées vers les services, l'information multimodale ou les problématiques d'aménagement des quartiers de pôles d'échanges.

L'objet de cet article, essentiellement méthodologique, est de présenter une mesure de la qualité de la coordination horaire entre modes de transports. L'indicateur « d'intensité nodale », mis en évidence par Beaucire (2004), est utilisé pour quantifier le nombre de correspondances possibles en un temps déterminé à l'aide des fichiers horaires des opérateurs de réseau. L'automatisation et le développement de la méthode de mesure de l'intensité nodale permet de mieux identifier les forces et faiblesses de la connexion intermodale (et/ou multi-échelles) dans un but scientifique mais aussi opérationnel. En effet, « l'association de plusieurs modes de transports étant susceptible d'augmenter significativement le choix de

1 A titre d'exemple, citons la « Plate-Forme de Recherche et d'Expérimentation pour le Développement de l'Information Multimodale » (PREDIM) qui propose un appui mutualisé au bénéfice des acteurs désireux d'améliorer, par un dispositif d'information adéquat, la complémentarité des différents modes de transports, tant individuels que collectifs.

2 Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports terrestres.

destinations possibles offert à l'utilisateur, il est essentiel que techniciens et élus locaux disposent d'outils propres à estimer les conséquences de certaines décisions en matière de connexion intermodale » (Stransky, 2008).

Une application est proposée à travers l'exemple de la gare de Besançon-Viotte, principal nœud ferroviaire de la région Franche-Comté. L'opportunité s'est présentée de travailler sur le cas de Besançon dans le cadre d'un projet de recherche anticipant les effets de l'arrivée du TGV Rhin-Rhône (mise en service programmée en décembre 2011)³. La gare de Besançon-Viotte fait l'objet d'une réflexion sur la réorganisation des réseaux et le développement d'un pôle tertiaire.

Notre article est organisé en trois temps. Dans un premier temps, ce travail se positionne par rapport aux réflexions sur la mesure des propriétés nodales. Le deuxième temps porte sur nos choix méthodologiques et le fonctionnement de l'outil d'analyse des correspondances. Enfin, le troisième temps explore les résultats des mesures de l'intensité nodale sur le pôle de Besançon-Viotte.

2. Intermodalité et mesure des propriétés nodales : état des connaissances et positionnement

2.1 L'enjeu de l'intermodalité : paradoxes et leviers

L'intermodalité est à la mobilité (usage associant différents modes), ce que le pôle d'échanges est à l'aménagement (lieu associant différents modes)⁴. Il s'agit d'une pratique successive de différents modes de transport au cours d'un même déplacement. Un déplacement étant entendu comme une action de se rendre d'un point d'entrée à un point de sortie du réseau de transport pour un motif, en réalisant un, deux, trois, ... voyage(s) soit zéro, une, deux correspondance(s). Selon le GART, les politiques en faveur de l'intermodalité constituent « un élément essentiel des nouveaux services à la mobilité » qui « suppose à la fois une approche globale des mobilités, nécessitant une large coopération des acteurs, l'optimisation des pôles d'échange et la mise en œuvre des nouvelles technologies de l'information et de la communication » (GART, 2010). Alimentant de grandes espérances de report modal et de ville durable, l'intermodalité et l'aménagement de pôles d'échanges se sont fait une place de choix dans les politiques de

3 Projet « Observatoire des effets territoriaux des gares du TGV Rhin-Rhône » piloté par Pascal Bérion (ThéMA) en partenariat avec les régions Franche-Comté et Bourgogne et la SNCF direction Rhin-Rhône.

4 Pour plus de précisions sur la terminologie des pôles d'échanges et de l'intermodalité : voir Margail (1996) et Richer (2008).

transport (Richer, 2007b). A titre d'exemple, le plan de réseau de l'agglomération de Valenciennes illustre l'émergence rapide de l'enjeu de l'intermodalité : en 2001, un seul mode de transport, le bus, est mis en valeur à travers le dessin de lignes d'égale importance. Moins de 10 ans plus tard (2010), le plan de réseau Valenciennois, sur le même périmètre, rend compte de près d'une dizaine de « modalités » de déplacements et de services à la mobilité (Tram, TER, Bus à forte fréquence, Bus à faible fréquence, Car, Navette, Transport à la demande, parking-relais, pôles d'échanges).

Si les projets en faveur de la meilleure combinaison des modes de transports alimentent les politiques de transport, l'intermodalité n'est cependant pas

exempte de paradoxes (figure 1) à l'image de l'ambiguïté des gares (Ollivro, 1996) et des pôles d'échanges (Menerault, 2006). L'ajustement des connexions entre différents réseaux peut décupler l'accessibilité structurelle du territoire tout en multipliant les ruptures de charge pour l'usager, fragilisant ainsi leur condition d'accès au territoire. Depuis les travaux pionniers du groupe « réseaux » dans les années 1980 (ex. Dupuy, 1986), plusieurs générations de recherches ont permis d'améliorer la connaissance de l'intermodalité en insistant sur l'enjeu et la complexité de ce levier pour l'organisation des réseaux et la structuration des polarités territoriales (en particulier : Stathopoulos *et al.*, 1991 ; Sander, 1993 ; Margail, 1996 ; Amar, 1996 ; Joseph, 1999 ; Menerault, 2006).

Fonction	Versant négatif de l'intermodalité	Versant positif de l'intermodalité
Accessibilité (le réseau)	Rupture de charge (pénalité dans le temps de déplacement), lieux d'incertitude, de pénibilité de la chaîne de déplacements.	Potentiel relationnel élevé des nœuds et amélioration de la performance globale des réseaux ; Développement des services aux usagers
Urbanisme (le pôle)	Concentration d'infrastructures, effet a-local, coupures urbaines et nuisances liées aux circulations : espace stérile ?	Potentiel d'intensification urbaine, site stratégique pour le co-développement urbanisme/ transport, implantation commerciale recherchée
Social (l'échange)	Non-lieu, espaces anonymes, inconfortables, surpeuplés où se croisent et s'ignorent des milliers d'individus ... (Augé, 1993)	Carrefour social, espace public animé, opportunités liées à l'étape, activité diurne/ nocturne où tout est possible ...

Figure 1. Les paradoxes de l'intermodalité

Pour les autorités organisatrices de transport (AOT), la question est de savoir comment tirer le « curseur » vers le versant positif de l'intermodalité pour en faire une politique publique vertueuse aux regards des préoccupations de développement durable (maîtrise de la consommation foncière et énergétique, baisse de l'usage de l'automobile, mixité sociale...). Pour cela, des « ingrédients » sont plus ou moins bien connus pour rendre possible (et éventuellement attractive) les pratiques intermodales. En effet, les AOT peuvent agir sur au moins cinq leviers :

- l'information multimodale : apporter à l'usager la connaissance des combinaisons d'offre de transport quelles que soient les autorités concernées ;
- la tarification combinée ou intermodale : tarifs et billetterie commune pour éviter les surcoûts et le changement de titre de transport à chaque correspondance ;
- l'aménagement fonctionnel : cheminements, signalétique, repérage... pour rendre le cheminement intermodal sûr, lisible, « accessible » à tous les usagers ;
- l'aménagement « urbain » : confort, accueil, commerces, services et agrément divers pour améliorer les conditions d'attente et offrir des opportunités ;
- la coordination horaire.

C'est précisément ce dernier aspect que cet article aborde en détail. La coordination horaire est une des

conditions indispensables à la pratique de l'intermodalité et au bon fonctionnement des pôles d'échanges. La compatibilité des horaires relève de plusieurs enjeux, en particulier pour les autorités en charge de l'organisation des transports et pour l'usager. Pour les premiers (les AOT et leurs opérateurs), les combinaisons des services de transport public optimisent la performance du réseau à offre constante (connectivité, connectivité). Pour le second, le voyageur, l'association de plusieurs modes de transports est susceptible d'augmenter significativement le choix de destinations possibles. La correspondance étant estimée par l'usager à une pénalité de 5 à 15 minutes en plus du temps réellement passé à attendre (Litman, 2008), il est nécessaire de ne pas rendre prohibitif la durée des ruptures de charge. Le problème est de savoir comment estimer la plus ou moins bonne coordination horaire des modes de transports pour dépasser la vision « monomodale » des pôles d'échanges et la conception indépendante des offres de service des différents opérateurs ? Nous avons ainsi cherché les approches et outils existants pour mesurer la performance des correspondances.

2.2 Indicateurs de « performance nodale » et de « cohérence intermodale »

De nombreux travaux ont cherché à apprécier les propriétés des réseaux à travers des indicateurs to-

pologiques. Ces réseaux, notamment de transport, « assurent une plus ou moins grande cohésion entre les lieux qu'ils desservent par le biais de leur morphologie caractérisée par deux propriétés empruntées à la théorie des graphes (connexité et connectivité) » (Offner *et* Pumain, 1996). La « connexité » du réseau traduit le fait que le réseau solidarise ou non les divers éléments du système en assurant la condition minimale de sa cohésion. La « connectivité » permet d'évaluer, pour un réseau connexe, la multiplicité des liaisons directes et/ou alternatives assurées dans le système par le réseau (Dupuy, 1985). D'autres indices

comme, par exemple, la « circuité »⁵ ou la « capillarité »⁶ complètent la connaissance quantitative de la performance des réseaux de transports. Notre contribution sur l'évaluation de l'intermodalité cherche ainsi à alimenter la connaissance qu'apportent ces différentes mesures (figure 2).

5 Dans le prolongement des travaux de Kansky (1989), Chapelon (1998) généralise un « indicateur de circuité » permettant de connaître, pour tout nœud, le détour moyen dû à la sinuosité des voies par rapport à la ligne droite.

6 Conesa (2010) développe un indicateur de capillarité qui mesure le bénéfice tiré de l'adhérence d'un réseau de transport au territoire ; l'indicateur se veut un complément de l'accessibilité qui « promet un gain de temps » quand la capillarité identifie « un gain de territoire ».

Type d'indicateur	Définition de la mesure	Apport de l'évaluation de l'intermodalité
Connexité	Cohésion entre différents éléments du réseaux	Détermination de la connexité des éléments du réseau en fonction de la possibilité de réaliser des correspondances
Connectivité	Existence de liaisons alternatives assurées par le réseau	Apport des combinaisons intermodales à l'amélioration de la connectivité du réseau
Circuité	Détour imposé par l'utilisation des réseaux par rapport à la ligne droite	Rôle ambigu des combinaisons intermodales sur la circuité : un réseau arborescent impose des détours, mais un trajet intermodal proche de la ligne droite peut être préféré à un chemin direct mais imposant un long détour.
Capillarité	Bénéfice tiré de la desserte territoriale des réseaux	Contribution de la performance intermodale des nœuds -permettant une meilleure accroche au territoire- à l'amélioration de la capillarité du réseau

Figure 2. Apport de l'évaluation de l'intermodalité aux indicateurs de performance des réseaux

Plus spécifiquement, notre article s'inscrit dans le développement d'indicateurs de nodalité, permettant « de caractériser voire de hiérarchiser les sommets d'un réseau du point de vue de leurs capacités relationnelles » (Offner *et* Pumain, 1996). Il tente de renouveler l'analyse de la « performance nodale des pôles » définie par Stathopoulos (1997) à travers des séries d'indices topologiques : nombre d'arcs, nombre de lignes, pôle accessible directement, pôle accessible avec une correspondance, capacité (nombre de places cumulées des rames passant par le pôle), fréquence (nombre de passages de rames par heure et par pôle), nombre de pôles accessibles en 30 min. Ces différentes caractéristiques témoignent du pouvoir nodal des points de réseaux mais donnent une image peu synthétique.

D'autres approches comme l'accessibilité intermodale (L'Hostis *et* Conesa, 2008) permettent de décrire la façon dont on atteint les lieux en combinant plusieurs modes de transport. Elle « pose la question de la mise en correspondance de modes au sein d'une chaîne de transport (intermodalité) » (L'Hostis *et* Conesa, 2008). Les auteurs apportent des précisions sur la prise en compte des correspondances dans les mesures d'accessibilité. Pour l'analyse d'un chemin optimal, les correspondances sont assimilées à une fréquence moyenne parfois différenciée selon une pé-

riode de pointe et une période creuse. Cette approche est surtout adaptée à l'analyse des systèmes de transport caractérisés par une fréquence élevée avec des transferts intermodaux facilités (correspondances entre métro ou tramway par exemple) : la durée moyenne entre deux circulations est faible et relativement peu variable. Par contre, dans le cas où l'offre est moins étoffée, la mesure d'un temps de connexion moyen ne rend plus compte de manière juste de la réalité des situations rencontrées : « Le coût temporel d'une correspondance manquée, quand on rate son bus, peut s'avérer prohibitif rapporté à la durée totale du trajet » (L'Hostis *et* Conesa, 2008). Dès lors, la solution préconisée pour la mesure de l'accessibilité intermodale dans le domaine des transports collectifs est l'utilisation des horaires.

L'accessibilité horaire affine les mesures au point de caractériser assez précisément la succession de séquences temporelles du déplacement d'un usager mobile. Le corollaire est une difficulté à agréger les résultats des modélisations sans perdre la précision de la mesure. Ainsi, l'accessibilité horaire suppose la multiplication des mesures et des cartes correspondant à autant de point de vues ou de besoins de déplacements identifiés répondant à des questionnements très précis posés sur un territoire (L'Hostis *et* Conesa, 2008). Appliquant la théorie des graphes, différents

travaux ont mesuré l'accessibilité horaire en prenant en compte des cheminements pédestres dans les correspondances intermodales. Ces contributions montrent à quel point l'accessibilité globale se trouve entravée en cas d'intermodalité déficiente entre les différentes lignes des réseaux. Ainsi, les mesures présentées dans cet article prolonge ce champ de réflexions sur l'accessibilité horaire en développant plus spécifiquement des indicateurs au niveau des nœuds, à l'image des contributions de Beaucire (2004) sur « l'intensité nodale » (développé dans la partie méthodologique suivante) et de Stransky (2008) concernant « l'indicateur de cohérence intermodale ».

La méthode développée par Stransky repose principalement sur la mise au point d'un indicateur global de « qualité de connexion intermodale » mesurant les possibilités, pour l'usager, de correspondances « peu pénibles » – en termes de temps d'attente – entre différents modes de transport. L'indicateur de cohérence intermodale « C » est le rapport entre un numérateur exprimant le rapport entre le nombre de bus utiles et le nombre de bus non utiles et un dénominateur comparant la période utile pour la connexion intermodale à la période non utile au cours d'une journée (figure 3). L'utilité désigne ici une période dans laquelle la correspondance est « aisée », c'est-à-

dire 10 minutes avant ou après le passage d'un train ou d'un car (selon que l'on se place dans une logique de rabattement ou d'irrigation).

Le résultat signifie que sur une période donnée, il passe n fois plus de bus qu'il n'en passerait si les horaires étaient fixés aléatoirement. L'auteur prévient que l'apport du calcul de l'indice « C » tient moins aux résultats numériques proprement dits qu'à son caractère adaptable et évolutif dans le cadre d'une étude à vocation opératoire. La contribution de Stransky permet surtout d'attirer l'attention sur l'importance de traduire la variation de la « qualité de connexion intermodale » pour estimer les perspectives d'aménagement des horaires aux points de correspondance. Notre contribution propose également l'identification d'un « indice » permettant de quantifier un des facteurs susceptible d'améliorer la qualité de la connexion intermodale : « celui de la place d'une logique horaire en faveur de temps d'attente limités aux points de correspondance intermodaux » (Stransky, 2008). Dans l'esprit de l'article de Stransky, nous cherchons à affiner la mesure de la « cohérence intermodale » en s'inspirant plus directement de la mesure de l'intensité nodale, comme nous le développons dans la partie suivante.

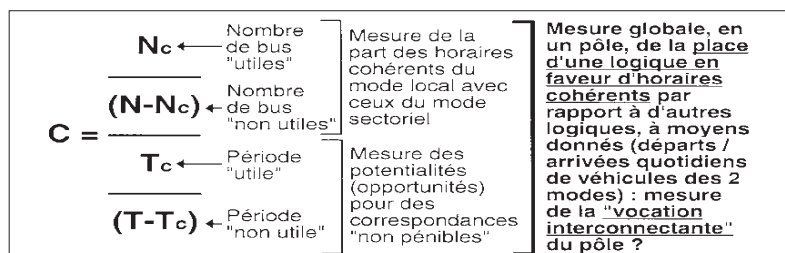


Figure 3. Détermination de l'indicateur de cohérence intermodale (Stransky, 2008)

3. De l'intensité nodale à la mesure des correspondances intermodales et multi-échelles : choix méthodologiques

3.1 Le calcul de « l'intensité nodale »

Beaucire (2004) propose une réflexion sur la nodalité des gares ferroviaires en se demandant très concrètement, si la gare de Saintes en Charente-Maritime peut être considérée comme un nœud du transport ? Pour répondre à cette question, l'auteur développe une méthode simple basée sur le calcul du « potentiel nodal » et de « l'intensité nodale ». Le potentiel nodal d'un pôle d'échanges est le nombre théorique de correspondances qu'il est possible de réaliser en une journée. Il exprime le potentiel maximal de relations qu'offre le pôle d'échanges. Pour le déterminer, il faut connaître

le nombre total d'arrêts au pôle d'échanges par les différents modes de transports ainsi que le nombre de directions que l'on peut atteindre. Par exemple, si le nœud possède trois directions possibles, les modes de passage peuvent donner une correspondance et les terminus en donnent potentiellement deux. L'intensité nodale est la part réalisable, dans le temps d'attente déterminé, du potentiel nodal. Cet indice témoigne du taux de correspondances possibles dans un délai déterminé.

Ces travaux, appliqués aux correspondances ferroviaires, expriment ainsi la performance de la connexion dans un pôle d'échanges. Outre l'automatisation des calculs, nous avons enrichi cette démarche par une analyse de tous les modes de transports publics se connectant dans le pôle d'échanges et pas uniquement les trains. Nous excluons cependant les modes de transports qui s'affranchissent d'une logique horaire (Automobile, vélo, marche à pied...). De plus, nous avons affiné la méthode par des esti-

mations précises du temps de cheminement et développé des indicateurs supplémentaires sur la base de « l'intensité nodale ».

La mesure de l'intensité nodale peut s'appliquer à un pôle d'échanges à proprement parler, c'est-à-dire un site aménagé en vue de faciliter l'intermodalité. Il peut y avoir un intérêt à mesurer les correspondances dans des secteurs non agencés en pôle d'échanges dans un esprit d'évaluation en vue de proposition d'amélioration. Les données nécessaires sont les horaires de passage de tous les modes de transport dans le site étudié. La base de données horaire originale, saisie pour l'analyse, comporte six informations : l'horaire d'arrêt au pôle d'échanges pour un jour donné, la provenance du mode de transport, la destination, le mode (TGV, Corail, TER, Bus, Tramway, Métro ou autre), l'échelle de desserte (régionale, nationale...) et le point d'arrêt dans le pôle d'échanges (par exemple le quai n°2, l'arrêt du bus n°6, la gare routière... etc.).

3.2 Dimension multi-échelles des pôles d'échanges : l'intensité nodale en irrigation et en rabattement

Un pôle d'échanges peut être caractérisé par les différents niveaux d'échelles territoriales qu'il articule : son métabolisme multiscalaire est illustré par les « zooms nodaux » de Chapelon (1996). Pour rendre compte des échelles potentiellement connectées dans les pôles d'échanges, nous avons procédé par étapes : d'abord, par la construction d'arcs-destinations, ensuite par l'identification de leur échelle de référence et enfin, par la mise au point de requête à deux sens : l'irrigation et le rabattement.

La modélisation « d'arcs-destinations » vise à simplifier les relations possibles à travers lesquelles les correspondances sont estimées. Laissé au libre choix de l'utilisateur selon ses objectifs (plus ou moins grande précision des mesures), la modélisation peut se traduire par un regroupement de différentes lignes de transport ayant un trajet similaire ou de différents services ferroviaires ayant une ou plusieurs destinations communes. L'objectif de cette étape est de schématiser les destinations possibles (et de ne pas prendre en compte tous les terminus) pour mesurer des correspondances réalistes (un usager ne va pas changer de mode dans un pôle d'échanges pour repartir dans la même direction !). La mesure de l'intensité nodale prend en considération les correspondances entre les arcs-destinations et non entre les terminus. Comme le signale Vaclav Stransky, si deux modes sont parfaitement redondants en termes de desserte territoriale, leur association ne présente aucune utilité pour l'usager au sens où elle ne conduit pas à une augmentation de l'offre en termes de choix de destinations possibles. Ainsi, certaines destinations relèvent d'un même arc : c'est souvent le cas des multiples lignes de bus

qui desservent des quartiers voisins avec des trajets proches ou avec des troncs communs.

L'ajout d'une information sur les échelles assure une grande finesse d'analyse : au-delà d'une mesure d'un mode vers un autre, il est possible de mesurer des correspondances entre échelles de desserte. Nous distinguons dans le cas pratique présenté dans la 3^{ème} partie, les échelles nationales, régionales et urbaines. Cependant, pour d'autres applications, il est possible d'ajouter d'autres échelons, par exemple internationaux, départementaux et même interrégionaux, métropolitains (pour des réseaux de tram-train par exemple) ou infra-urbains (pour des réseaux ne couvrant pas l'agglomération ou le PTU). L'utilisateur dispose d'une souplesse totale dans la détermination des échelles. Selon les besoins, il faudra soit limiter les niveaux spatiaux, par exemple pour calculer la coordination entre les grands réseaux (TGV, Corail) et les dessertes régionales (TER, Car SNCF ou interurbains), soit multiplier les niveaux en distinguant les multiples échelles couvertes par un même mode (par exemple, dans le Nord-Pas-de-Calais, les dessertes à grande vitesse peuvent avoir une vocation régionale, nationale et internationale).

Les requêtes paramétrées dans Access permettent de répondre à la question suivante : avant le départ ou après l'arrivée d'un mode au pôle d'échanges, quelles sont les correspondances qui peuvent être réalisées dans un délai supportable pour l'usager ? Deux « sens » de mesure sont nécessaires pour estimer la dimension multi-échelles de l'intermodalité comme l'illustre le schéma. D'un côté, l'irrigation estime la part de correspondance possible après l'arrivée au pôle d'échanges d'un mode de transport d'échelle « supérieure » vers un mode d'échelle « inférieure ». De l'autre côté, le rabattement rend compte de la part de correspondance possible d'un mode d'échelle « inférieure » avant le départ d'un mode « supérieur ». Les termes « irrigation » et « rabattement » sous-entendent qu'il y a un sens dans les associations d'échelles des modes de transports connectés : d'un côté, on irrigue le territoire à partir d'un mode d'échelle supérieure vers un niveau de desserte plus fin (TGV vers TER ou vers Bus par exemple) et d'un autre côté, on se rabat d'une échelle fine vers un mode « supérieur ». Les requêtes mono-modales (TER vers TER) et mono-échelles (Tramway vers Bus) sont également possibles et tout à fait pertinentes que ce soit en « irrigation » ou en « rabattement ». Ces mesures de l'intensité nodale identifient des « potentiels » qui peuvent être (ou ne pas être) activés lors d'un déplacement combinant différentes offres de transport collectif. A ce titre, toutes les combinaisons d'arcs n'ont pas la même importance et ne sont pas porteurs des mêmes enjeux. Cependant, ils témoignent tous du fonctionnement d'un système complexe, le pôle d'échanges (figure 4).

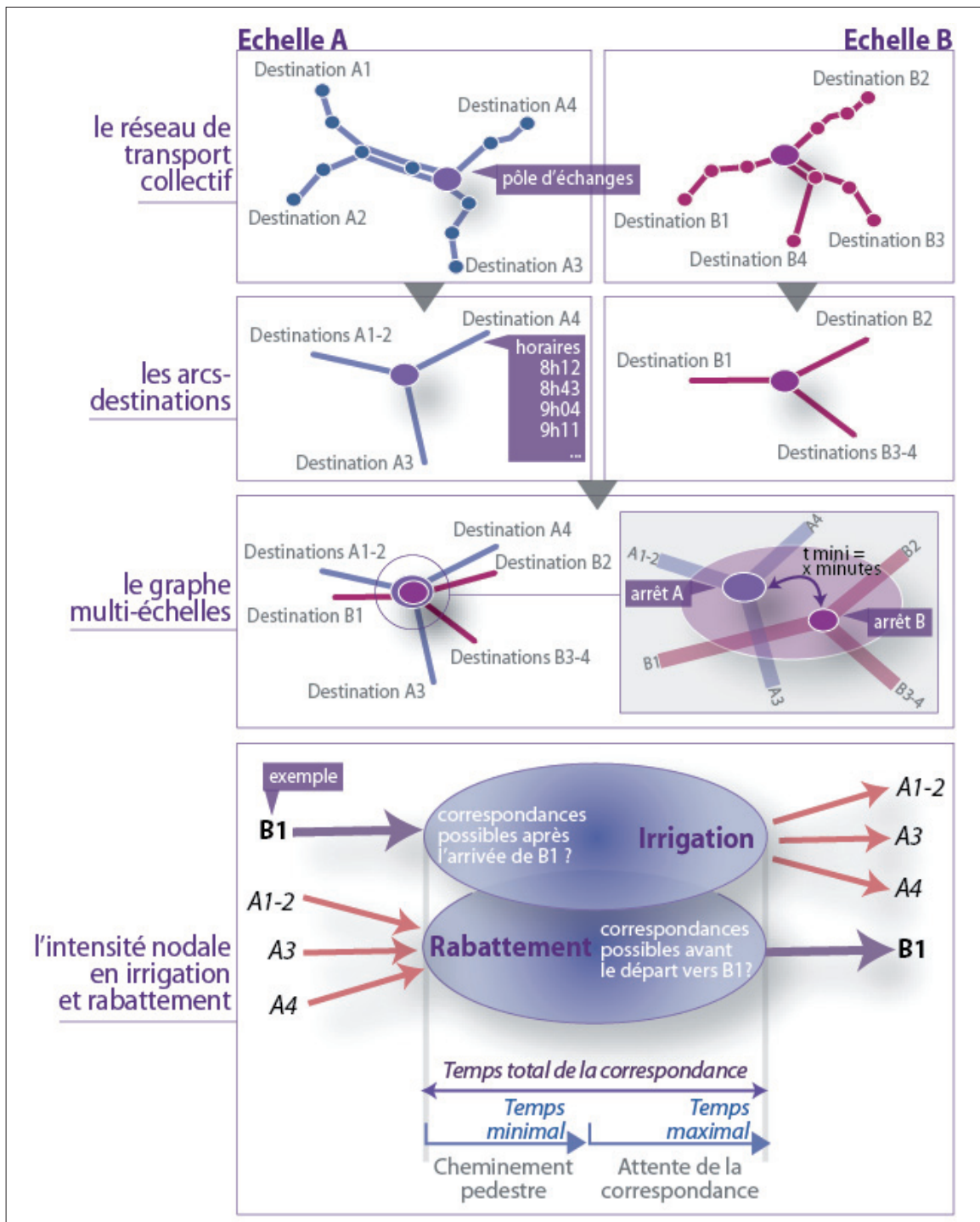


Figure 4. Démarche pour la mesure l'intensité nodale en irrigation et en rabattement

3.3 Temporalité du pôle d'échanges : la séquence de l'intermodalité à travers le temps de cheminement et le temps d'attente

Pour un usager, le temps d'attente aux correspondances est généralement perçu négativement car il s'apparente à une rupture parfois inconfortable, incertaine et pénalisante dans la chaîne de déplacement. Pour les économistes, le calcul du coût généré

réalisé du transport intègre le temps généralisé et un paramètre représentant la valeur moyenne du temps ressenti par les voyageurs qui tient compte des correspondances (Crozet, 2005). Le rapport « Boiteux II » recommande, pour la mesure de la valeur du temps, de comptabiliser des coûts de pénalité (ou coût d'inconfort) de 50 % pour les situations de congestion et de 100 % pour les situations d'attentes (coût du temps multiplié par deux). L'attente, même réduite, entre deux modes de transports serait donc plus « couteuse » dans les modèles gravitaires que la

congestion. C'est précisément ce temps de correspondance qui est à la base de la mesure de la cohérence entre modes complémentaires (Stransky, 2008). Entre l'arrivée d'un usager en correspondance dans le pôle d'échanges et son départ, il s'écoule une durée que nous appellerons temps total de correspondance. Ce temps se compose d'un temps de cheminement pédestre entre le point d'arrivée et le point de départ du pôle d'échanges, et d'un temps d'attente de la correspondance.

Le temps de cheminement pédestre constitue, en d'autres termes, le temps minimal de correspondance en dessous duquel le changement de mode est impossible. Pour le déterminer ce temps, il est indispensable d'avoir une bonne connaissance de l'espace interne du pôle d'échanges. En effet, celui-ci n'est pas un seul et unique « point de réseau » dans l'espace mais une plus ou moins bonne mise en synergie (par le mode pédestre⁷) de différents arrêts relevant de différents réseaux de transport (un parking, les quais de la gare ferroviaire ou routière, l'arrêt ou les arrêts de bus, de tramway ou de métro...). Ainsi, le changement de mode ne se fait pas automatiquement entre chaque arrêt et les conditions de transfert sont généralement très variables (du changement quai à quai au long cheminement avec des obstacles et sans signalétique). L'analyse des configurations spatiales du site est donc indispensable pour localiser les points d'arrêts des différents réseaux de transport, relever la qualité du cheminement pédestre pour estimer le temps nécessaire pour transiter à pied d'un arrêt à un autre. A l'image des représentations de l'atlas des pôles d'échanges (Bajard, 1999) ou des recherches sur les simulations des déplacements de piétons dans les stations de transport (Banos *et* Paré, 2009 ; Banos *et* Charpentier, 2010), la connaissance fine des continuités et des ruptures dans les trajectoires permettrait d'affiner l'épreuve de l'intermodalité. La mesure du cheminement pédestre entre deux arrêts s'exprime ici uniquement de manière quantitative (en temps) mais ce transfert pourrait faire l'objet d'une analyse plus qualitative sur le confort du cheminement, sur l'existence ou non d'informations et d'une signalétique guidant le voyageur ou sur l'accessibilité (ou non) du pôle d'échanges aux personnes à mobilité réduite. En perspective, la prise en compte des situations de handicap pour les usagers devra être envisagée tant certaines organisations des lieux de l'intermodalité mettent les voyageurs dans une situation perturbante⁸.

Le temps d'attente détermine la durée qui s'écoule avant que l'usager prenne sa correspondance. Pour calculer l'intensité nodale, nous sommes amenés à

⁷ Selon Amar (2010), « l'exemple le plus caractéristique de mobilité dans la mobilité est la marche, mode à la fois, inter et intramodal, qui se glisse particulièrement facilement dans les autres » (Interview dans « Infrastructures et mobilité », n°101, Sept. 2010).

⁸ Voir le film de Christian Lallier, « Changement à gare du Nord » (1995).

choisir un temps maximum jusqu'auquel nous considérons que la correspondance peut se faire dans des conditions « acceptables » pour l'usager. Ce temps de correspondance « acceptable » pour l'usager est soumis à débats. Stransky (2008) parle de 10 minutes pour la correspondance entre mode ferroviaire et transports urbains tandis que Beaucire (2004) mesure l'intensité nodale entre modes ferroviaires à partir de correspondances réussies dans un laps de temps de 20 minutes. Pour la vente de titre de transport, l'opérateur ferroviaire autorise, selon les trajets, des correspondances de 30 minutes en moyenne qui ne sont jamais inférieures à 10 minutes. Les délais « supportables » varient généralement selon des critères individuels, en fonction du type de correspondance effectué (on accepte plus facilement d'attendre un TGV qu'un bus) et du déplacement en lui-même (un temps de correspondance de 30 minutes n'a pas la même incidence lors d'un trajet occasionnel en TGV de 5h et lors d'un trajet quotidien en bus de 1h).

Etant donné la diversité de condition possible d'intermodalité (configuration du site, type de combinaison modale, ambiance du pôle d'échanges, confort du cheminement, recherche d'information, achat d'un nouveau ticket...), le temps minimal (cheminement) et maximal (attente) de la correspondance doit rester totalement ajustable par l'utilisateur dans le cadre des mesures de l'intensité nodale. Cependant, il peut être conseillé de conserver un temps de correspondance standard lorsqu'il s'agit de comparer plusieurs gares ou pôles d'échanges entre eux (Richer, 2010). Pour la partie suivante, présentant une analyse monographique du cas de Besançon-Viotte, nous avons opté pour une adaptation du temps de correspondance selon les modes connectés.

4. Intensité nodale et performance de l'intermodalité en gare de Besançon-Viotte

4.1. La gare de Besançon-Viotte : agencement du pôle et graphe multi-échelles

La gare de Besançon, au cœur de l'espace métropolitain Rhin-Rhône, est la principale gare de la région Franche-Comté. L'amélioration des correspondances TGV/TER en gare de Besançon est fréquemment rappelée dans les documents stratégiques comme un enjeu pour l'accessibilité de l'agglomération bisontine et de toute la région franc-comtoise. Seulement, la position centrale de la gare par rapport au tissu urbain de l'agglomération bisontine n'est pas renforcée par l'aménagement d'un pôle d'échanges entre les bus, les cars et l'offre ferroviaire. Ainsi, il apparaît nécessaire d'évaluer les forces et faiblesses de la connexion intermodale dans la perspective d'un profond réaménagement du site.

A l'échelle de la gare et de son quartier, le pôle de Besançon-Viotte apparaît très morcelé. Les arrêts de bus sont éloignés de l'accès à la gare qui offre toutefois une bonne combinaison entre les cars et les trains. Le site est isolé par le faisceau des voies ferrées au nord et par le boulevard routier de quatre voies en sens unique au sud. Cette organisation des circulations rend difficile l'accès à la gare pour les bus qui sont contraints d'effectuer un large détour pour s'arrêter devant le parvis. La principale gare bisontine n'est d'ailleurs pas identifiée dans le réseau Ginko⁹ comme un pôle d'échanges de bus. Les cheminements pédestres entre le parvis et les quais ferroviaires sont facilités dans un bâtiment de taille modeste (une seule entrée). Le premier quai est directement à niveau tandis que pour accéder aux autres quais, il faut cheminer par le passage souterrain. Celui-ci n'est pas équipé d'ascenseurs ni d'escalators pour l'accès aux plates-formes. L'élargissement des escaliers et l'installation d'un ascenseur sont programmés. Le cheminement entre les arrêts de bus éloignés du parvis et la gare est long et peu confortable. Ces types d'usages se prêtent surtout aux pratiques d'initiés car, pour un voyageur occasionnel, le site est peu lisible et l'accès assez problématique. Une estimation empirique des temps de cheminement nous permet de déterminer le temps minimal de correspondance utilisé pour les calculs (figure 5).

A l'échelle du périmètre de transport urbain de la communauté d'agglomération du Grand Besançon (176 000 habitants), nous avons choisi de retenir cinq

grandes destinations accessibles par sept lignes de bus à partir de la gare : Temis/Campus, Orchamps, St-Ferjeux, St-Claude et le centre ville avec notamment le pôle St-Jacques. L'échelle régionale et départementale n'est pas différenciée dans l'analyse des correspondances. Les liaisons avec Vesoul, à 40 km, sont assurées par la Région Franche-Comté puisque les cars passent une limite départementale. A l'inverse, les relations avec Pontarlier à une cinquantaine de kilomètres sont prises en charge par le conseil général du Doubs puisqu'elles sont internes au département. La gare de Besançon-Viotte est donc considérée comme un nœud « régional/départemental » à sept branches, dont quatre ferroviaires (Dijon, Belfort, Lons-le-Saunier, Morteau) et trois routières (Vesoul, Pontarlier, Gray). A l'échelle nationale, quatre arcs concernent Besançon, vers Paris en TGV, vers l'aéroport Roissy-Charles De Gaulle puis Lille toujours en TGV, vers Lyon et Strasbourg grâce à l'arrêt dans la capitale comtoise du train Corail Strasbourg-Lyon. La gare de Besançon bénéficie d'une accessibilité d'échelle nationale équilibrée grâce environ à six relations quotidiennes en 2h30 vers chacune de ces trois métropoles.

Les horaires des modes de transports présents dans le pôle gare de Besançon-Viotte (Bus, Car, Car-TER, TER, Corail, TGV) ont été relevés pour un jour ouvrable de base, le jeudi 6 juin 2009. Le fichier horaire de Besançon-Viotte comporte 839 lignes d'horaires réparties dans les trois échelles définies précédemment : 26 lignes horaires pour les grandes lignes, 183 pour l'échelon régional et 627 pour les bus de l'agglomération bisontine.

⁹ Le réseau de bus Ginko de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon est organisé autour de quatre pôles d'échanges situés à Micropolis, St-Jacques, Temis et Orchamps.



Figure 5. Agencement du pôle de Besançon-Viotte et arcs-destinations potentiellement connectés

4.2. Les multiples dimensions de l'intensité nodale au pôle de Besançon-Viotte

En premier lieu, nous calculons le potentiel nodal et l'intensité nodale en globalité, c'est-à-dire de tous les arcs vers tous les arcs. A Besançon-Viotte, l'intensité nodale, prenant en compte le temps minimal de cheminement et un temps maximal de correspondance fixé à 30 minutes, atteint 60 %. Il y a donc 3 054 combinaisons possibles dans un délai « acceptable » (30 minutes) sur un potentiel nodal de 5 041 liaisons. Ce résultat global masque d'importantes variations de la qualité des correspondances entre niveaux d'échelles (figure 6). Concernant le réseau Grande Ligne (TGV, Corail), la gare de Besançon-Viotte n'a aucun rôle nodal. A l'inverse, la densité de l'offre, comme celle des bus urbains, augmente le nombre de correspondance possible. Cependant, il existe une dissymétrie importante entre l'intermodalité TGV/Corail et Bus urbain selon que l'on mesure la qualité de l'irrigation ou du rabattement : dans le sens TGV/Corail vers le bus, la fenêtre de correspondance est très réduite par les longs cheminements (10 minutes) et les choix du temps total de correspondance (15 mi-

minutes). Dans le sens du bus vers TGV/Corail, même si le cheminement est toujours aussi médiocre, on fait l'hypothèse qu'une attente plus longue est acceptable (30 minutes) lorsqu'il s'agit de prendre un train grande ligne (attente dans une gare et délai nécessaire pour chercher l'emplacement de sa réservation).

Une investigation plus précise a été menée sur les correspondances à l'échelle régionale. Malgré la position privilégiée et le rôle régional qu'entend jouer Besançon-Viotte dans le réseau franc-comtois, seulement un quart du potentiel nodal de l'offre « régionale » (TER ou Car) dispose d'une connexion efficace (ici entre quatre minutes minimum et 20 minutes maximum). Le tableau suivant désagrège le résultat de l'intensité nodale en irrigation entre modes régionaux (25%) pour préciser le détail du nombre de correspondances possibles par couples d'arcs (figure 7). Cette mesure indique très finement le nombre de relations connectées dans la journée sur le nombre de relations théoriques possibles (potentiel nodal) : par exemple, les TER en provenance de Dijon bénéficient, dans la journée, de quatre correspondances performantes en moins de 20 minutes vers Morteau ou vers Vesoul alors que plus d'une quinzaine de connexions sont potentiellement envisageables.

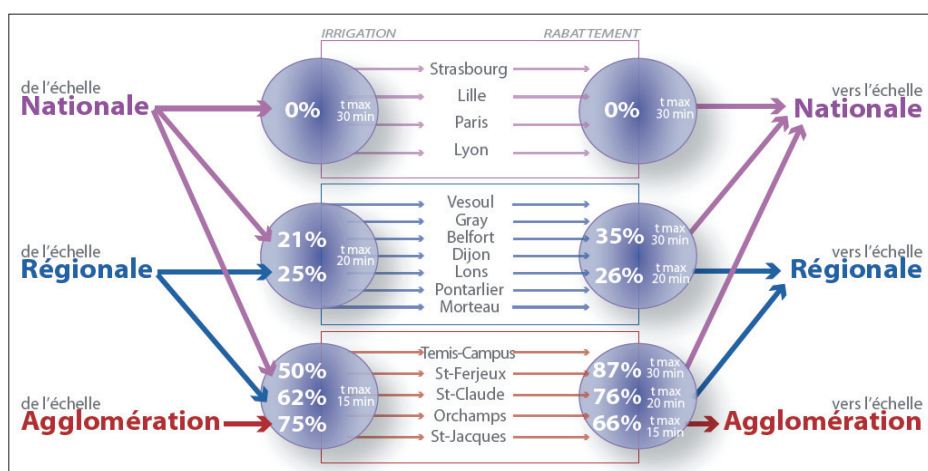


Figure 6. Résultat de l'intensité nodale en irrigation et rabattement selon les échelles connectées à la gare de Besançon-Viotte

	vers Belfort	vers Dijon	vers Gray	vers Lons	vers Morteau	vers Pontarlier	vers Vesoul	Total 116/465 soit 25%
de Belfort		4/9	4/13	5/14	3/14	3/13	3/15	22/78 = 28%
de Dijon	4/12		3/15	5/17	4/17	5/15	4/18	25/94 = 26%
de Gray	2/5	2/5		1/4	0/4	2/4	1/5	8/27 = 29%
de Lons	3/11	3/11	0/9		2/11	0/9	1/11	9/62 = 14%
de Morteau	3/9	2/10	1/8	1/9		1/8	0/9	8/53 = 15%
de Pontarlier	4/11	5/11	2/10	3/10	2/10		2/11	18/63 = 28%
de Vesoul	7/16	7/16	1/13	3/15	5/15	3/13		26/88 = 29%

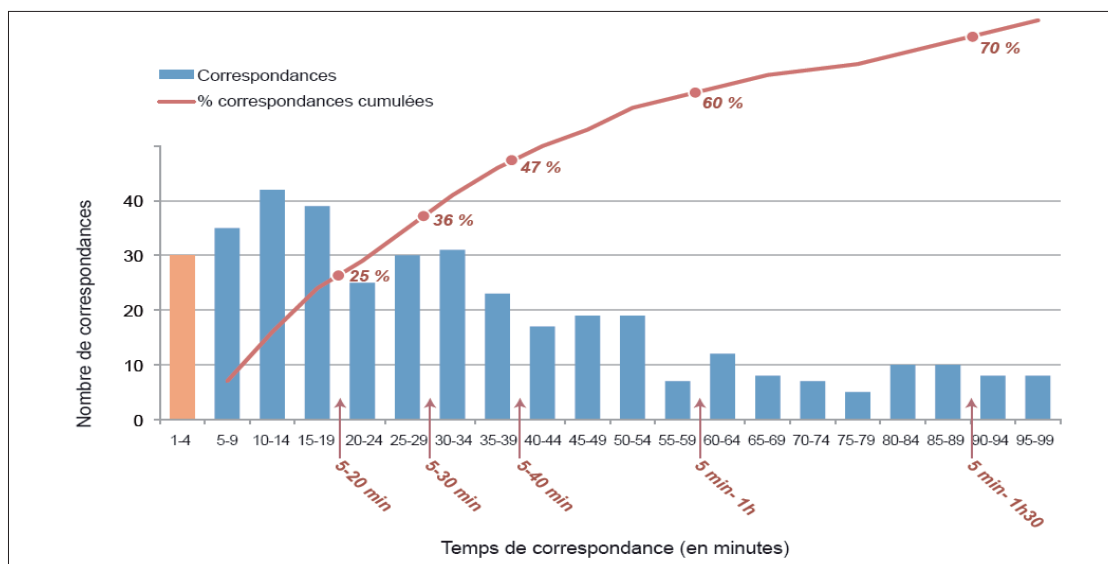
Note de lecture du tableau : à l'arrivée d'un train régional en provenance de Belfort à la gare de Besançon-Viotte, quatre correspondances sur 13 vers Gray (Car régional) sont possibles dans un intervalle de temps de 4-20 minutes.

Figure 7. Résultat de l'intensité nodale en irrigation et rabattement selon les échelles connectées à la gare de Besançon-Viotte

Au-delà du résultat en pourcentage, la valeur brute du nombre de correspondances (numérateur dans le tableau) donne aussi une indication importante, celle du nombre de bonnes combinaisons horaires. Pour l'usager, il vaut mieux avoir sept correspondances possibles sur 16 (comme pour le couple Vesoul vers Dijon) en moins de 20 minutes que deux sur quatre (comme pour le couple Gray-Pontarlier), même si la part d'intensité nodale est plus faible. Certaines combinaisons sont possibles plusieurs fois dans la journée, comme les liaisons vers Belfort et Dijon alors que certaines chaînes concernant les arcs de Gray, Lons-le-Saunier ou Morteau disposent d'une seule correspondance efficace et dans certains cas d'aucune. Dans ces conditions, la perspective que des usagers effectuent régulièrement des déplacements avec une correspondance à la gare Besançon-Viotte, est très réduite.

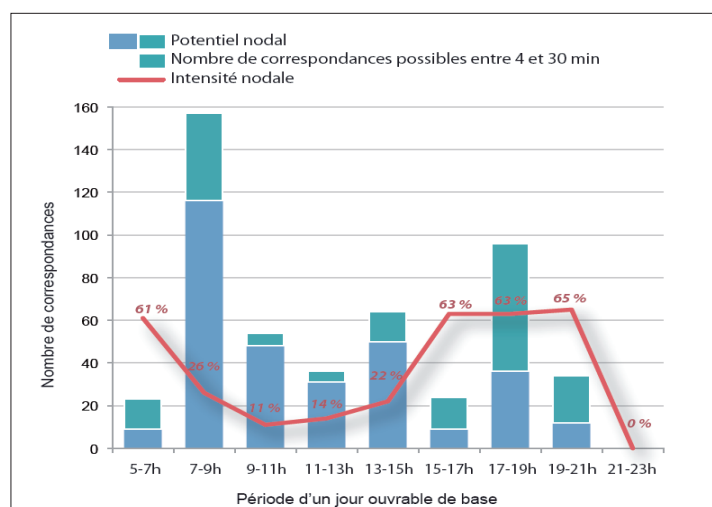
D'autres investigations, comme la variation de l'intensité nodale en fonction du temps disponible pour effectuer une correspondance, permettent d'affiner la performance des combinaisons régionales à la gare de Besançon-Viotte (figure 8). C'est entre 10 et 14 minutes que les correspondances entre modes régionaux sont les plus importantes. Globalement les correspondances sont nombreuses jusqu'à 35 minutes d'attente puis à un palier inférieur jusqu'à 55 minutes. Ensuite, le nombre de correspondance se stabilise ce qui dessine une droite des correspondances cumulées à la pente faible. Même si les plus forts taux d'intensité nodale se répartissent dans les temps de correspondance les plus faibles, il faut attendre en moyenne 45 minutes pour atteindre 50 % d'intensité nodale entre les TER francs-comtois.

L'observation de la qualité des correspondances sur l'ensemble d'une journée (figure 9) témoigne de



Note de lecture du graphique : dans la journée, il y a 42 correspondances d'un mode régional vers un mode régional qui sont possibles dans un pas de temps de 10 à 14 minutes d'attente. Pour des correspondances réalisées dans un délai inférieur à 20 minutes, l'intensité nodale est de 25 %.

Figure 8. Nombre de correspondances en fonction du temps d'attente en gare (Correspondances d'un mode régional vers un mode régional)



Note de lecture du graphique : entre 7h et 9h, le potentiel nodal s'élève à 156 et l'intensité nodale de 25 %.

Figure 9. Variation du nombre de correspondances dans une journée (Correspondances d'un mode régional vers un mode régional entre 4 et 30 minutes)

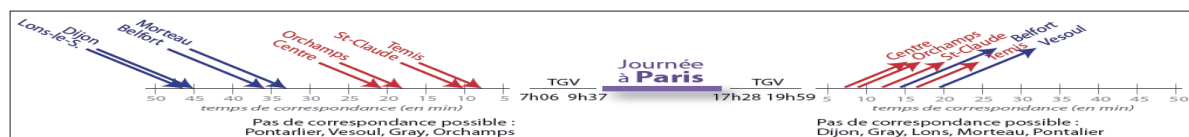
conditions d'intermodalité variables selon la tranche horaire. Le potentiel nodal dessine bien des heures de pointe le matin (7-9h) et le soir (17-19h) où l'offre est plus dense. L'intensité nodale n'est pas directement corrélée à ce potentiel car l'offre du matin, particulièrement dense, ne dispose pas d'un bon niveau de correspondance dans un délai acceptable, élargi ici à 30 minutes maximum. C'est un résultat original car la densité de l'offre, même sans ajustement des horaires, aurait pu se traduire automatiquement par des possibilités de connexions facilitées. Ainsi, les transferts à Besançon-Viotte entre modes relevant de l'échelle régionale sont surtout performants entre 15h et 21h (près de deux correspondances possibles sur trois) mais assez peu au moment de l'heure de pointe du matin (entre 7h et 9h, seulement une correspondance possible sur quatre).

4.3. Simulations spécifiques autour de la performance intermodale de Besançon-Viotte

Ces travaux sur les correspondances peuvent être affinés progressivement. Il est possible d'observer la qualité de la connexion sur une offre particulière. La gare de Besançon-Viotte est le point de correspondance obligé des flux ferroviaires de l'axe Rhin-Rhône entre Dijon et l'Alsace. Ainsi, l'exemple de la correspondance du Dijon-Strasbourg à Besançon est un excellent cas d'étude. Sur les cinq combinaisons possibles, seulement deux trajets ne dépassent pas la contrainte

horaire, ici de 30 minutes maximum. Cependant, il y a peu de variabilité dans les temps de trajet (entre 4h et 4h30 environ) malgré des correspondances de qualité très différente. Il semble que la « fonction » correspondance soit peu utilisée pour améliorer le temps de parcours : en effet, en utilisant les meilleurs temps de trajet et de correspondance à Besançon, on peut obtenir un temps Dijon-Strasbourg de 3h25 (59 min + 9 min de correspondance + 2h17). Cet exemple montre que les gains de temps peuvent être recherchés en jouant sur la performance intermodale à offre constante.

Au-delà du couple d'arcs, il est intéressant d'étudier les correspondances par rapport à une offre structurante, par exemple l'aller-retour en TGV à Paris (figure 10). Pour cette approche, l'intérêt est de positionner les arcs à l'échelle de la région et de l'agglomération pour le pré puis post-acheminement à la gare de Besançon-Viotte. Plusieurs destinations régionales ne peuvent pas se rabattre sur le TGV du matin comme Pontarlier, Vesoul ou Gray et ne peuvent pas prendre une correspondance le soir, comme les arcs Dijon, Gray, Lons, Morteau et Pontarlier. Il est évident que si un seul des accès (rabattement ou irrigation) est possible, un autre choix modal sera effectué par l'utilisateur. Ainsi, au niveau régional sur ce cas d'étude, seul l'arc Belfort bénéficie d'un accès possible le matin et d'un retour le soir dans des conditions satisfaisantes. L'accès des bus urbains est possible dans les deux sens pour tous les arcs dans des temps de correspondance inférieurs à 25 minutes.



Note de lecture du graphique : en rouge, les bus urbains ; en bleu, les liaisons régionales. Le TER en provenance de l'arc « Belfort » arrive 36 minutes avant le départ du TGV de Besançon-Viotte vers Paris, et repart 14 minutes après le retour du TGV.

Figure 10. Correspondances des arcs relevant de l'échelle régionale et de l'agglomération pour une journée à Paris

Les pôles d'échanges ont une « épaisseur temporelle » qui dépend en grande partie de la longueur des cheminements internes et de la bonne combinaison des horaires. Le changement de mode n'est pas sans conséquence sur la durée de la chaîne de déplacement. Par exemple, sur la relation entre Paris et les arcs de la région Franche-Comté avec correspondance à Besançon-Viotte, les représentations des temps moyens de correspondances témoignent de grandes différences dans la qualité des ruptures de charge (figure 11). Globalement, les destinations régionales, situées entre 50 et 75 km de Besançon, sont toutes à une distance d'une heure environ en transport collectif. Cependant, sur le trajet étudié avec une correspondance à Besançon-Viotte (de Paris vers les principales villes de Franche-Comté), l'usager rejoint les destinations régionales avec un temps majoré : le trajet de Paris vers les arcs régionaux varie de 3h30 à plus de 5h. Cette grande élasticité des temps d'accessibilité ne dépend pas du mode de transport à proprement parler, mais simplement ici de la qualité des ajustements entre les horaires. Ainsi le « désenclavement » de cer-

tains territoires ne passe pas toujours par la création d'une infrastructure ou d'une offre nouvelle mais parfois par des services de transports mieux coordonnés. Ces simulations témoignent, en quelque sorte, de la surface temporelle d'un pôle d'échanges, c'est à dire de la rugosité que va impliquer la mobilité intermodale.

Une dernière simulation teste la variation de l'intensité nodale en fonction de la modulation du temps minimum de correspondance, ce qui revient à réduire les temps de cheminement pédestre (figure 12). Au pôle de Besançon-Viotte, les arrêts de bus sont mal positionnés par rapport au hall de gare et nécessite un long cheminement pédestre (estimé à 10 minutes). Si l'on réduit ce temps de cheminement à 4 minutes, ce qui revient à simuler le passage de tous les bus sur le parvis de la gare (comme pour les cars), on augmente de manière significative l'intensité nodale. Outre l'amélioration du confort des usagers, cette configuration intermodale permet d'améliorer substantiellement les résultats sans modification de l'offre de service.

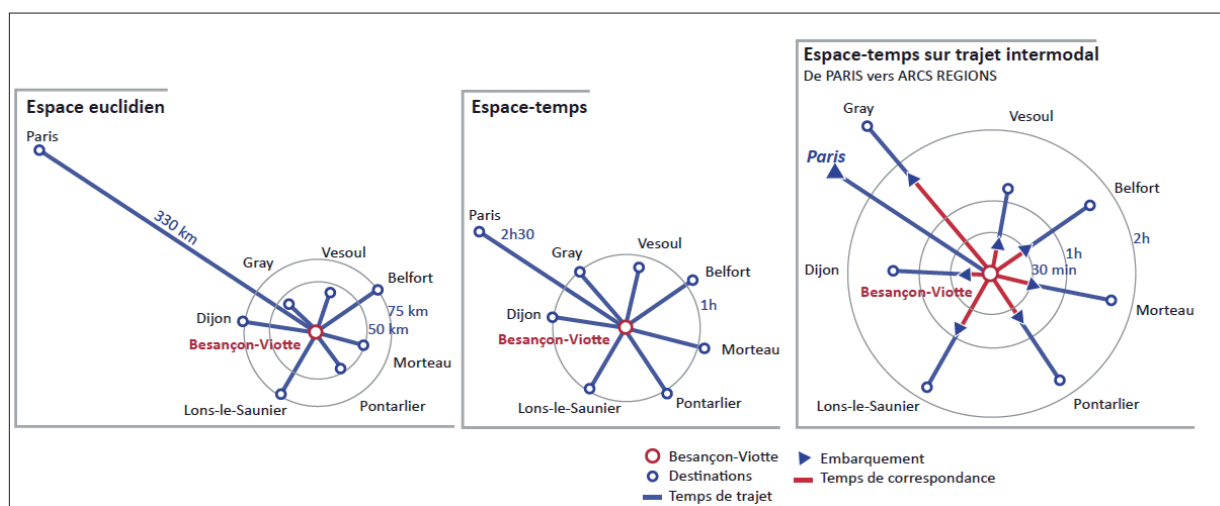


Figure 11. De l'espace euclidien à l'espace-temps sur un trajet intermodal. Exemple des correspondances à Besançon-Viotte sur des liaisons Paris-Région Franche-Comté

Temps minimal : cheminement pédestre	Temps maximal : attente de la correspondance	Irrigation TER/Car vers Bus
10 min	15 min	54 %
4 min	15 min	86 % (+32 pts)
10 min	20 min	82 %
4 min	20 min	92 % (+10 pts)

Figure 12. Variation de l'intensité nodale en fonction de la modulation des temps de correspondance (cheminement et attente)

5. Conclusion

Pour effectuer cette analyse, notre travail automatise, à l'aide de requêtes sur une base de données horaires, une méthode consistant à mesurer l'ajustement des correspondances entre les modes de transports potentiellement connectés dans les pôles d'échanges. Nous développons les notions de « potentiel nodal » et « d'intensité nodale » proposées par Beaucire (2004). La mise à disposition d'un outil opératoire alimentant une organisation des réseaux par nœud et non seulement par ligne contribue à une meilleure prise en compte de la « dimension station » face à la « dimension circulation » habituellement privilégiée par les exploitants (Dupuy, 1992). Les résultats de ce travail démontrent que tous les modes présents dans un pôle d'échanges ne sont pas effectivement connectés, c'est-à-dire que les conditions minimales d'intermodalité ne sont pas toujours remplies. Les enjeux qui procèdent de cette évaluation de l'intermodalité sont de différents registres :

- techniques et opérationnels, la mise à disposition d'un outil d'aide à l'évaluation des correspondances permet d'identifier des points de blocages et de simuler de nouvelles configurations des pôles d'échanges, des modifications d'horaires...etc. ;
- d'aménagement, ce type d'évaluation est un élément de l'examen clinique des systèmes urbains si l'on admet que la « personnalité » d'une ville se lit « dans sa manière d'agencer une diversité de mouvements, de composer des vitesses » (Amar, 2004) ;
- de planification, ces travaux peuvent contribuer à alimenter des diagnostics ou à fixer des objectifs en matière de politique intermodale ;

- cartographique, la mesure de l'intensité nodale peut donner lieu à des représentations spatiales innovantes combinant les échelles de desserte en transport collectif ;
- et théorique, les réflexions s'inscrivent dans une recherche d'amélioration de la compréhension des discontinuités spatio-temporelles des nodosités territoriales.

Les exemples développés dans cet article n'abordent qu'une modeste partie des enjeux de l'évaluation de l'intermodalité évoqués ci-dessus. Les types de mesures de l'intensité nodale doivent être mis en débat face aux objectifs des utilisateurs. En outre, de multiples applications dans d'autres contextes que ceux présentés ici, peuvent être considérés, à l'image du transport aérien ou plus spécifiquement, du rabattement sur le réseau de transport public.

Rappelons enfin que « s'il est nécessaire d'assurer des correspondances aussi simples et efficaces que possible, l'efficacité de la connexion urbaine n'est pas ennemie de la halte, de la pause » (Amar, 1996). Ainsi, l'intérêt de notre outil n'est pas uniquement de trouver les moyens de réduire au maximum les temps d'attente et de considérer uniquement les pôles d'échanges comme des machines circulatoires (Augé, 1992) car « l'étape, même forcée, s'enrichit d'opportunités » (Amar, 1996). Indépendamment des mesures de correspondance, la perception de l'attente dans les pôles d'échanges dépend pour beaucoup du niveau de confort et de la possibilité de valoriser le temps passé à attendre sa correspondance.

6. Références

- Amar G., 1996, Complexes d'échanges urbains, du concept au projet, le cas de la Défense. *Les Annales de la recherche urbaine*, n°71, pp. 93-100.
- Amar G., 2004, *Mobilités urbaines. Éloge de la diversité et devoir d'invention*, Edition de l'Aube, Paris.
- Augé M., 1992, *Non-lieux : une introduction à une anthropologie de la sur-modernité*, Seuil, Paris.
- Bajard M., 1999, *Atlas des pôles d'échanges. Appréhender l'organisation spatiale des lieux de la mobilité*, AREP, PREDIT, Paris.
- Banos A., Paré A., 2009, Simuler les déplacements de piétons dans une station de métro : une approche à base d'agents, *Revue Internationale de Géomatique*, n°19/3, pp 277-302.
- Banos A., Charpentier A., 2010, Simulating pedestrian movement in dynamic environments, *Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, article 499, mis en ligne le 17 mai 2010.
- Banos A., Lassarre S., Paré A., Tazdait N., 2010, Simuler les déplacements de piétons dans des environnements dynamiques, in Banos A., Thévenin T., Dir, *Mobilités urbaines et risques des transports : approches géographiques*, Hermès, Sous Presse
- Baptiste H., 2006, La place du pôle d'échanges dans le réseau, in Menerault Ph., dir, *Les pôles d'échanges en France. État des connaissances, enjeux et outils d'analyse*, dossiers du CERTU n°172, INRETS/CODRA, pp. 51-62.
- Bavoux JJ., 2005, la Nodalité : un concept fondamental de l'organisation de l'espace. *Cahiers Scientifiques du Transport* n°48, pp. 5-14.

- Beaucire F., 2004, La gare de Saintes, Charente-Maritime : lieux ou nœud de réseaux, *Journée de Géographie des Transports*, Cergy-Pontoise.
- Cauvin C., 1999, Propositions pour une approche de la cognition spatiale intra-urbaine, *Cybergéo*, n°72, 24 p.
- Cervero, R., 1999, *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*, Earthscan, London, OFL.
- Chapelon L., 1996, Modélisation multi-échelles des réseaux de transport: vers une plus grande précision de l'accessibilité, *Mappemonde*, n°3, pp. 28-36.
- 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, Université de Tours, 558 p.
- Chapelon L., 1998, Evaluation des projets autoroutiers : vers une plus grande complémentarité des indicateurs d'accessibilité, *les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°33, pp. 11-40.
- Chapelon L., 2003, Évaluation des chaînes intermodales de transport: l'agrégation des mesures dans l'espace et le temps, *Actes du colloque Technological innovation for Land transportation*, TILT tenu à Lille du 2 au 4 décembre 2003, Lille: GRRT
- Conesa A., 2010, *Modélisation des réseaux de transports collectifs métropolitains pour une structuration des territoires*, Thèse de doctorat en Aménagement de l'Espace-Urbanisme, INRETS-Université de Lille 1, 494 p.
- Crozet Y., 2005, *Le temps et les transports de voyageurs*, Conférence Européenne des Ministres des Transports, pp. 27-69
- Dobruskes F., Hubert M., Laporte F., Veiders C., 2011, Réorganisation d'un réseau de transport collectif, ruptures de charge et mobilités éprouvantes à Bruxelles, *Articulo*, n°7-2011, <http://articulo.revues.org/1844>.
- Dupuy G., 1985, *Systèmes, réseaux et territoires. Principe de réseautique territoriale*, Presse de l'ENPC, 167 p.
- Dupuy G., 1986, L'interconnexion. Éléments de réflexion. *Cahiers du Groupe Réseau*, n°5, pp. 3-9.
- Dupuy G., 1993, Les stations nodales du métro de Paris : le réseau métropolitain et la revanche de l'histoire, *Les Annales de géographie* n°569, pp. 17-31.
- Dupuy G., 1999, *La dépendance automobile, symptômes, analyses, diagnostics, traitements*. Paris, Edition Economica, Anthropos, coll. villes, 157 p.
- Fiegel J., Banos A., Bertelle C., 2009, Modeling and simulation of pedestrian behaviours in transport areas: the specific case of platform/train exchanges, *Proceedings of ICCSA 2009*, 29 June-2 July, Le Havre
- GART, 2010, *les nouveaux outils de l'intermodalité*, colloque du 9 novembre 2010
- Hine J., Scott J., 2000, Seamless, accessible travel: users' views of the public transport journey and interchange, *Transport Policy*, 7 : 217-226.
- Jemelin C., Vodoz L., Pfister B., 2004, Entre accélération et rupture d'équilibre : une société à deux vitesses, in Vodoz L., Pfister B., Jemelin C., *Les Territoires de la mobilité. L'aire du temps*, Presses polytechniques et universitaires romandes, pp. 379-383
- Joseph I., 1999, *Gares intelligentes, accessibilité urbaine et relais de la ville dense*. Rapport Predit, RATP, 124 p.
- Kansky K.-J., 1963, Structure of transportation networks : relationships between network geometry and régional characteristics, Research paper n°84, Université of Chicago, 155 p.
- L'Hostis A., Conesa A., 2008, Définir l'accessibilité intermodale, in Banos A., Thévenin Th., *Systèmes de Transport Urbain*, ed. Hermès-Lavoisier, 240 p.
- L'Hostis A., 2003, Théorie des graphes et représentation des distances : chronocartes et autres représentations, in Mathis Ph., dir, *graphes et réseaux : modélisation multiniveaux*, Paris, Hermès, pp. 215-230
- Litman T., 2008, Valuing Transit Service Quality Improvements, *Journal of Public Transportation*, 11, 2 : 43-63 , <http://www.nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT11-2Litman.pdf>.
- Margail F., 1996, De la correspondance à l'interopérabilité : les mots de l'interconnexion. *Flux*, n° 25, pp. 28-35.
- Massot M-H., 1996, La multimodalité automobiles et transports collectifs : complémentarités des pratiques modales dans les grandes agglomérations in *Recherche Transports Sécurité* n°50.
- Menerault Ph., 1994, Contribution à une analyse morphologique des réseaux viaires, *Flux* n°16, pp. 49-67
- Menerault P., L'Hostis A., 2000 , Analyse des relations réseaux/territoires : restructuration de l'offre ferroviaire de l'axe Lille-Valenciennes-Jeumont, INRETS, GRRT, 85 p.
- Menerault Ph., 2006 , dir, *Les pôles d'échanges en France. État des connaissances, enjeux et outils d'analyse*, dossiers du CERTU n°172, INRETS/CODRA, 179 p.
- Ollivro J., 1996, L'ambiguïté des gares, clé du développement contemporain, *Les annales de la recherche urbaine* n°71, pp.35-44
- Offner J.M., Pumain D., 1996, *Réseaux et territoires, significations croisées*, Edition de l'Aube, Paris, 281 p.
- Paris S., 2007, *Caractérisation des niveaux de services et modélisation des circulations de personnes dans les lieux d'échanges*, Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 308 p.
- Richer C., 2007a, *Multipolarités urbaines et intermodalité : les pôles d'échanges, un enjeu pour la coopération intercommunale ?*, Thèse de doctorat en Géographie et Aménagement, INRETS, Université des Sciences et Technologies de Lille, 530 p.
- Richer C., 2007b, Quelles politiques intermodales dans la planification territoriale ? Analyse des pôles d'échanges dans les plans de déplacements urbains, *Flux* n°69, Numéro spécial « Politique de déplacements et planification territoriale », pp. 35-48.
- Richer C. (2008), L'émergence de la notion de pôle d'échanges : entre interconnexion des réseaux et structuration des territoires, *Les Cahiers Scientifiques du Transport* n°54, pp. 101-123.

- Richer C., 2010, Les stations nodales du réseau ferroviaire français à grande vitesse, Colloque « Gares et Territoires de la grande vitesse ferroviaire », Théma Dijon-Besançon, 16-17-18 juin 2010.
- Sander A., 1993, *Les méthodes de conception et production des espaces de transit : un état des lieux*. GDR réseaux, 56 p.
- Stathopoulos N., Amar G., Peny A., 1991, *Formes et fonctions des points de réseaux*. Paris, RATP, 1991, 29 p.
- Stathopoulos N., 1994, Effets de réseau et déséquilibres territoriaux dans la structure de l'offre ferroviaire à Paris, *Flux* n°18, pp. 17-32.
- Stathopoulos N., 1997, *La Performance territoriale des réseaux de transport*, Paris Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 236 p.
- Stransky V., 2008, Vers une métrique de la connexion intermodale : Un essai de quantification de la cohérence entre modes de transport complémentaires, *Cahiers Scientifiques du Transport*, n°53, pp. 29-56
- Wardman M., Hine J., 2000, *Costs of interchange: a review of the literature*. Leeds, University of Leeds, Institute of Transport Studies.
- Wiel M., 1999, *La transition urbaine ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée*, Edition P.Mardaga, 149 p.