

VERS UNE MÉTRIQUE DE LA CONNEXION INTERMODALE : UN ESSAI DE QUANTIFICATION DE LA COHÉRENCE ENTRE MODES DE TRANSPORT COMPLÉMENTAIRES

VACLAV STRANSKY
LVMT, UMR INRETS 9403
UNIVERSITÉ PARIS XII – VAL DE MARNE

INTRODUCTION

L'idée de favoriser l'interconnexion de deux ou plusieurs modes de transport en commun part d'un constat évident : à moyens donnés -c'est-à-dire pour un certain niveau d'aménagement en infrastructures, pour un certain parc de matériel roulant et pour une certaine intensité d'utilisation de ce matériel-, le nombre de destinations accessibles depuis une origine peut être considérablement accru. La promotion et le développement de telles interconnexions s'inscrit d'ailleurs dans une logique « d'optimisation des équipements » conforme à l'esprit de la LOADDT (Loi d'Orientation de l'Aménagement Durable du Territoire, 1999), dont le dispositif de planification donne priorité à la valorisation de l'existant par rapport à la réalisation d'infrastructures

nouvelles (MERCADIER, 1998 ; MENERAULT, STRANSKY, 1999).

La notion même d'interconnexion soulève trois séries d'interrogations (MENERAULT, STRANSKY, 1997)¹ :

- Autour de sa définition : de quoi parle-t-on exactement ? Quelles sont les différentes acceptions de ce terme (MARGAIL, 1995) ?...
- Autour d'enjeux d'aménagement du territoire liés à cette notion : ne laisse-t-on pas échapper certaines opportunités propres à améliorer certaines accessibilités en misant sur la segmentation des réseaux ? Que perd-on -et qui y perd- à ne pas articuler entre eux des réseaux de différentes échelles (MENERAULT, 1996) ?...
- Autour de la mesure de l'interconnexion : avec quels indicateurs ? Doit-on mesurer la qualité d'articulation ou l'effort consenti par les opérateurs concernés pour interconnecter leurs réseaux ?...

S'appuyant largement sur une étude abordant ces questions, cet article se propose de focaliser sur la troisième, celle de la métrique de l'interconnexion (STRANSKY, 1997).

Cette tentative de « mesurer » l'interconnexion -terme aux acceptions multiples et auquel, pour cette raison, nous préférons l'expression **connexion intermodale**²- s'inscrit dans une démarche visant à produire des outils d'aide à l'orientation des politiques d'aménagement du territoire³. Plus précisément, il s'agit de proposer une méthode d'évaluation des performances de mise en relation de différents points d'un territoire par les transports en commun desservant ce dernier, compte tenu des politiques des AO (autorités organisatrices) : dans quelle mesure celles-ci préconisent-elles l'abandon de lignes moins rentables, ou au contraire se situent-ils plutôt dans une optique de service public ? Plus spécifiquement, lors de l'élaboration et la mise en service d'un réseau, celui-ci est-il pensé comme élément d'un système plus vaste et devant par conséquent s'intégrer dans un schéma général prenant en compte les autres modes de transport, ou bien ce réseau répond-il à des logiques indépendantes de ces derniers ? La connexion intermodale devient alors un enjeu de taille en matière de choix politiques des collectivités locales : si ces dernières jugent la connexion intermodale inefficace, c'est-à-dire si les réseaux sont administrés sans souci d'interdépendance entre les

¹ Ces trois volets relèvent d'une logique commune qui rassemble les « *trois attributs essentiels d'un espace* » définis par LÉVY (1994) : la **substance** (ou « *la dimension non spatiale des objets sociaux* »), l'**échelle** (ou « *la taille des espaces* ») et la **métrique** (ou « *la mesure des distances au sein de l'espace concerné* »).

² Cette expression, qui nous semble mieux expliciter le « type d'interconnexion » étudié dans cet article, n'est pas, elle non plus, exempte d'ambiguïtés, ne serait-ce qu'en raison de la difficulté, dans certains cas, à définir ce qu'est un mode, notion aux contours parfois flous (par exemple, car et autobus : un même mode opérant à deux échelles territoriales ou deux modes distincts ?).

³ Cf. par exemple : CHAPELON, 1997 ; L'HOSTIS, DECOUPIGNY, 2001...

différents modes et entre les différentes gestions, elles pourront intervenir pour améliorer la **cohérence** entre réseaux de transports publics afin qu'ils deviennent moins concurrents et plus **complémentaires**.

Pour les collectivités locales, il est donc important de pouvoir disposer d'outils opératoires propres à apprécier la qualité d'articulation entre différents modes (ou qualité de connexion intermodale) : sans de tels outils de mesure, aucune évaluation des politiques mises en place pour améliorer l'offre de transport n'est en effet envisageable.

L'objectif de cet article est de proposer un indice permettant de quantifier non pas la qualité de la connexion intermodale elle-même, mais l'un des facteurs susceptibles d'améliorer cette dernière : celui de la « place » d'une logique horaire en faveur de temps d'attente limités aux points de correspondance intermodaux. En effet, toutes choses égales par ailleurs, plus forte est la place accordée à une telle logique de minimisation des temps d'attente, meilleure est la qualité de la connexion intermodale. A terme, des indicateurs de ce type pourraient, par exemple, aider à clarifier les liens existants entre cette qualité de la connexion intermodale et la qualité de l'offre de transport pour les usagers ; sur un plan opérationnel, ils permettraient alors de mettre en évidence certains aspects de la connexion intermodale sur lesquels il faut agir pour améliorer l'offre.

Certes, il s'agit là d'un objectif ambitieux que cet article ne prétend pas atteindre. Plus modestement, notre intention est de commencer à défricher un terrain encore peu abordé. Car si l'interconnexion (au sens où nous l'entendons ici -celui de la connexion intermodale) a, à ce jour, fait l'objet d'un certain nombre de travaux et de publications⁴, l'absence de consensus nous oblige à proposer nos propres critères de qualité de connexion intermodale (choix pouvant évidemment être discuté) sur la base desquels est élaboré l'indicateur proprement dit. Ce dernier est ensuite appliqué, à titre illustratif, à un terrain d'étude irrigué par trois modes distincts (train, car et bus) assurant une desserte à deux échelles territoriales différentes (échelle locale pour le bus, échelle sectorielle pour le train et le car).

1. DU CRITÈRE À L'INDICATEUR

Toute construction d'indicateurs suppose l'explicitation de critères. Or le caractère multidimensionnel de la connexion intermodale, comme la diversité des angles d'approche envisageables, rendent les choix complexes.

Le point de vue privilégié dans le cadre de cet article est celui de **l'offre de service aux usagers**, selon une démarche visant à « cartographier des possibilités » dont les usagers peuvent se saisir -ou non : autrement dit, l'offre ne sera pas mise ici en relation avec la demande. Cette option

⁴ MATHIO, 1986 ; BERNEY, 1989 ; PLASSARD, 1990 ; VARLET, 1992 ; NEIERTZ, 1994 ; DESPORTES, 1995 ; MARGAIL, 1996 ; MENERAULT, 2002...

consistant à focaliser sur l'offre et à faire abstraction de la demande s'inscrit dans une logique analogue à celle servant de fondement à certains travaux⁵ ayant conduit à la production de modèles informatiques⁶ dont l'objet est non pas l'explication du fonctionnement des réseaux de transport, mais la simulation, dans une optique d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire, par l'apport d'éléments quantitatifs pouvant être mis au service du processus décisionnel⁷.

Rappelons que pour améliorer -à moyens constants- l'offre de transport, les collectivités locales peuvent tirer parti des potentialités liées à l'existence simultanée, sur leur territoire, de plusieurs réseaux, notamment en agissant sur la cohérence entre modes complémentaires. C'est essentiellement sur ces deux notions -la **complémentarité** et la **cohérence** des gestions de ces modes- que nous proposons de faire reposer la construction d'indicateurs propres à « mesurer la connexion intermodale ».

L'approche choisie étant délibérément centrée sur l'utilisateur, c'est à partir des questions que ce dernier est à même de se poser sur ces deux aspects de la connexion intermodale que nous avons cherché à élaborer les outils de mesure.

1.1. « OÙ PUIS-JE ALLER ? » - MESURER LA COMPLÉMENTARITÉ PAR L'ACCESSIBILITÉ

Parmi ces questions, celle de l'accessibilité maximale est sans doute première : « *quel choix de destinations m'est offert -depuis un point donné- compte tenu des modes de transport en commun disponibles ?* »

De fait, l'accessibilité -selon son acception empruntée à la théorie des graphes- peut servir à apprécier la complémentarité des modes, au sens où elle permet de quantifier les apports respectifs de chacun de ces derniers. Il suffit pour cela de modifier la question initiale : « *dans quelle mesure le choix de destinations qui m'est offert -depuis un point donné- est-il dû à l'association, au cours de mon déplacement, de deux ou plusieurs modes de transport ?* »

Sachant que la correspondance représente généralement une gêne relativement mal supportée, nous postulons néanmoins que l'utilisateur n'est prêt à subir qu'une seule rupture de charge au cours de son déplacement. Dans le cadre de cet article à vocation essentiellement méthodologique, ce postulat est sans doute acceptable, mais dans une étude de cas commanditée par un opérateur de transport, il serait nécessaire de le soumettre à l'épreuve des faits (par

⁵ DUPUY, STRANSKY, 1996 ; CHAPELON et al., 1997 ; KWAN, 1998 ; MATHIS, 2003 ; ESPON, 2004...

⁶ Par exemple MAP et NOD (L'HOSTIS, CHAPELON), inspiré des travaux de MATHIS.

⁷ Plus précisément, il s'agit de simuler l'impact de projets de modification de l'offre de transport, permettant, notamment, une comparaison entre un état actuel et un état futur.

exemple au travers d'enquêtes auprès d'usagers des réseaux concernés).

L'outil retenu ici pour mesurer la complémentarité des modes sera donc **l'accessibilité topologique avec une correspondance**⁸. Plus précisément, pour chaque point desservi, nous déterminerons, dans différents cas de figure hypothétiques (en termes de réseaux disponibles), le nombre maximum d'autres points desservis qu'il est possible d'atteindre en effectuant une correspondance au plus au cours du déplacement : la comparaison des résultats permettra d'évaluer les gains d'accessibilité apportés par chaque mode au système de transport et donc de mesurer la complémentarité des modes.

Il convient de noter que la complémentarité n'est pas à proprement parler une mesure de « qualité de connexion intermodale » qui, pourtant, fait l'objet de cet article. Elle constitue cependant un préalable incontournable, une condition nécessaire, sans laquelle la connexion intermodale est dénuée d'intérêt : si les modes ne sont pas complémentaires -c'est-à-dire s'ils sont parfaitement redondants en termes de desserte territoriale-, leur association ne présente aucune utilité pour l'utilisateur⁹ au sens où elle ne conduit pas à une augmentation de l'offre en termes de choix de destinations possibles.

A ce propos, l'association de modes qui nous semble être la plus à même d'accroître potentiellement cette offre est celle concernant des dessertes territoriales d'échelles différentes, comme par exemple, la combinaison d'un mode « local » (bus desservant un district, une Communauté d'Agglomération...) et d'un mode « sectoriel » (car ou train, de portée, par exemple, régionale). C'est donc à ce type de complémentarité que nous nous limitons.

1.2. « AVEC QUELLE PÉNIBILITÉ ? » - VERS UN INDICATEUR AGRÉGÉ DE COHÉRENCE INTERMODALE

La seconde question que l'utilisateur est susceptible de se poser est celle de la pénibilité de son trajet, souvent assimilée au temps de déplacement. A cet égard, le temps d'attente aux correspondances est particulièrement mal perçu : c'est précisément ce dernier qui est à la base de la mesure de la **cohérence** entre modes complémentaires -un sectoriel et un local.

Contrairement à la complémentarité, dont la mesure fait appel à des outils existants (théorie des graphes), l'indicateur de cohérence a été construit dans le cadre de l'étude ayant servi de base au présent article (STRANSKY, 1997) ; il en constitue donc l'un des apports originaux.

⁸ Issue de la théorie des graphes, l'accessibilité topologique à une correspondance ne fait intervenir, dans son calcul, ni les distances, ni les temps de parcours : pour qu'un point soit « accessible » depuis un autre point, il suffit que l'offre de transport en commun donne la possibilité à l'utilisateur d'aller du premier au second sans avoir à effectuer plus d'une correspondance.

⁹ Sauf, bien entendu, en cas de congestion ou de dysfonctionnement de l'un des deux modes.

La cohérence, au sens où nous l'entendons, caractérise localement la qualité de l'articulation entre modes complémentaires, aux endroits où la correspondance est physiquement possible (proximité des stations appartenant aux différents modes). Nous appellerons de tels endroits des *pôles de correspondances* ou, simplement, *pôles*. Dans l'optique de l'usager -particulièrement attentif au temps d'attente-, cette mesure de « qualité globale de la correspondance en un pôle » fait intervenir les heures de passage ou, plus exactement, les décalages entre heures de passage de véhicules appartenant à deux modes (un sectoriel, un local). Dans le cadre de cet article, sera considéré comme « acceptable » un décalage inférieur à 10 minutes¹⁰, le présumé étant que si le cumul du temps d'attente et du temps nécessaire pour le déplacement de quai à quai est inférieur à cette valeur forfaitaire, la correspondance peut être qualifiée d'« aisée » (ou de « non pénible »).

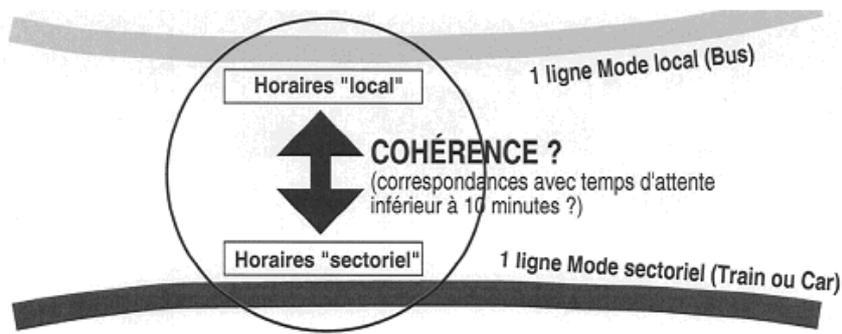
A l'instar de ce qui a été dit précédemment à propos du postulat sur la rupture de charge (l'usager est supposé n'en accepter qu'une au maximum), notons que dans une étude réalisée, par exemple, pour le compte d'un opérateur de transport, un important travail de terrain devrait également être mené au préalable pour éventuellement revoir -à la hausse ou à la baisse- cette valeur forfaitaire (que nous avons fixée arbitrairement à 10 minutes), afin de tenir compte du contexte spécifique et des conditions locales de chaque pôle (STRANSKY, 2006) : distance de quai à quai (ou de station à station), qualité d'aménagement de l'itinéraire de la correspondance, conditions d'attente (abris couverts, chauffés...), etc. Des enquêtes auprès d'utilisateurs pourraient également être envisagées pour aider à trancher, au cas par cas, sur la valeur-seuil du temps d'attente, distinguant une correspondance « pénible » d'une correspondance « non pénible ». Cependant, compte tenu de l'objectif principalement méthodologique de cet article, nous nous accordons ici la facilité de faire l'économie d'un tel préalable qui, autrement, serait indispensable à la crédibilité des résultats numériques d'un travail à vocation plus opératoire.

Cela étant posé, considérons une situation de proximité physique entre deux stations appartenant à deux lignes relevant chacune d'un mode différent, un local et un sectoriel (Figure 1). Sur chaque ligne circulent des véhicules s'arrêtant à certaines heures à ces stations (donc en ce pôle). L'indicateur de cohérence intermodale -nous l'appellerons **C** (pour **cohérence**)- devrait permettre de répondre à la question : *dans quelle mesure ces horaires sont-ils cohérents, c'est-à-dire rendent « aisés »¹¹ le plus grand nombre possible de correspondances ?*

¹⁰ En tenant compte d'un temps forfaitaire de 2 minutes pour effectuer le déplacement à pied entre les véhicules des deux modes et d'un temps forfaitaire de 1 minute correspondant au décalage entre le moment où le véhicule sectoriel s'arrête au pôle et le moment où il en repart (lorsque le pôle n'est pas un terminus). Ces valeurs forfaitaires pourraient évidemment faire l'objet d'une adaptation au cas par cas.

¹¹ Ou « non pénible », c'est-à-dire : temps d'attente inférieur à 10 minutes.

Figure 1 : « Cas simple »



Plus généralement, en cas de proximité physique de stations de plusieurs lignes appartenant à plusieurs modes, c'est de l'ensemble des correspondances « aisées » rendues possibles par cette proximité que l'indicateur C doit rendre compte. Eu égard aux objectifs de cet article, toutes les lignes d'un mode ont été « fusionnées » en une seule ligne fictive sur laquelle circuleraient tous les véhicules de ce mode. Les horaires, en ce pôle, d'une telle ligne virtuelle résultent évidemment de la superposition des horaires de l'ensemble des lignes qui la composent (Figure 2).

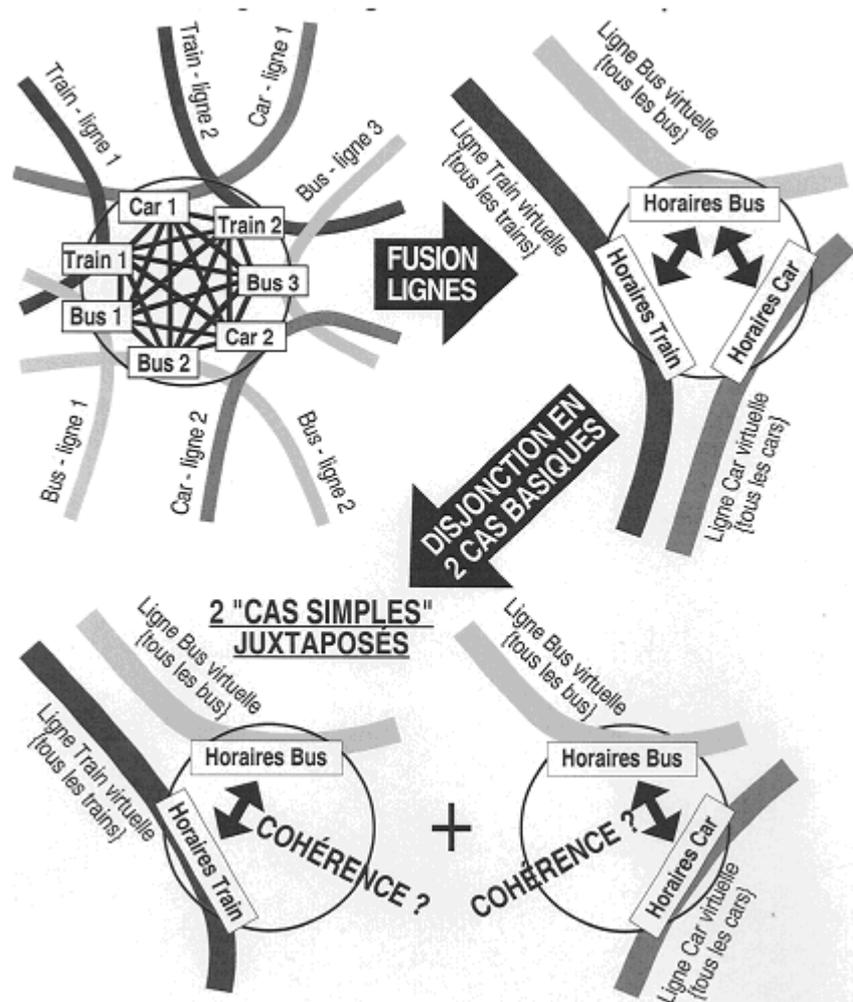
L'indicateur C doit donc être construit de manière à permettre de mesurer globalement, en un pôle donné, la cohérence de ces « horaires cumulés » caractérisant deux lignes virtuelles.

Par ailleurs, sa formalisation doit prendre en compte notre choix de focaliser sur les cas d'association de lignes appartenant l'une à un mode sectoriel, l'autre au mode local, l'avantage de ce cas de figure (outre celui, évoqué plus haut, relatif à l'accroissement de l'offre) résidant dans le fait d'être en accord avec une logique de massification des flux¹² : **rabattement** vers un mode « d'échelle supérieure » (sectoriel), **irrigation** fine du territoire à partir de ce mode, l'un et l'autre au moyen d'un mode local (le bus). Cette logique présuppose une forme de « priorité absolue » des horaires du mode sectoriel (car ou train) par rapport à ceux du mode local (bus) au sens où les seconds sont censés s'adapter aux premiers. En d'autres termes, les rôles respectifs des modes complémentaires ne sont pas symétriques : l'heure d'arrêt d'un train dans une gare, par exemple, est supposée constituer, pour l'opérateur du mode local (et/ou pour l'AO), une motivation suffisante pour fixer les horaires de manière à ce que des bus arrivent au pôle quelques minutes avant le passage du train et que d'autres en repartent quelques minutes après, en vue de permettre des correspondances « aisées » en termes de temps d'attente¹³.

¹² Souhaitable dans une optique de maximalisation du remplissage des matériels roulants.

¹³ S'il est vrai qu'une telle conception hiérarchisée de l'interconnexion peut être sujette à controverses, rien n'empêcherait de proposer un autre indicateur où les rôles respectifs des deux modes seraient inversés, les heures de passage des bus constituant alors une variable exogène.

Figure 2 : Passage du cas général à deux « cas simples »



De plus, dans la mesure où un bus peut jouer un rôle de rabattement ou d'irrigation¹⁴, l'indicateur C doit pouvoir être calculé aussi bien pour l'ensemble des bus arrivant **avant**¹⁵ le départ du véhicule du mode sectoriel (logique de rabattement) que pour l'ensemble des bus arrivant **après** le passage du véhicule du mode sectoriel (logique d'irrigation).

Enfin, s'il est vrai que la question ayant initié la réflexion sur la quantification de la cohérence ne fait intervenir que le nombre de correspondances « aisées », l'option finalement retenue consiste à élaborer plutôt un indice C susceptible d'évaluer alors, en un pôle donné, non pas la cohérence horaire

¹⁴ Rabattement vers une station de mode sectoriel, irrigation fine du territoire depuis une telle station.

¹⁵ Dans la limite des 10 minutes de temps d'attente maximal, bien évidemment.

en soi¹⁶, mais plutôt la « **place apparente d'une logique** (délibérée ou non) **favorable aux correspondances aisées** ». L'objet de l'indicateur est donc de montrer dans quelle mesure une telle logique est -ou n'est pas- prédominante par rapport à d'éventuelles autres logiques, en sachant que ces dernières font ici office de « boîte noire » et que l'unique critère pour apprécier la pénibilité d'une correspondance est celui des horaires.

Partant de ces considérations préalables, nous proposons un indice qui se présente comme un *odds-ratio* -rapport de deux rapports :

$$C = \frac{\frac{N_C}{N - N_C}}{\frac{T_C}{T - T_C}}$$

où :

- N_C est le nombre quotidien de « **bus utiles** », expression désignant les bus desservant le pôle (plus exactement : les heures de départ ou d'arrivée des bus, suivant que l'on s'intéresse à l'irrigation ou au rabattement) au cours d'une période utile pour une correspondance aisée, c'est-à-dire durant un laps de temps de 10 minutes avant ou après (selon que l'on se place dans une logique de rabattement ou d'irrigation) l'heure de passage (précisément : l'heure d'arrêt pour l'irrigation, l'heure de départ pour le rabattement) d'un véhicule de mode sectoriel (car ou train).
- N est le nombre quotidien total de bus s'arrêtant en ce pôle ;
- Par conséquent, $(N - N_C)$ est le nombre de bus « non utiles ».
- T_C est la « **période utile** », c'est-à-dire le cumul, sur une journée, de toutes les périodes de 10 minutes avant ou après (selon que l'on s'intéresse au rabattement ou à l'irrigation) l'heure de passage d'un véhicule de mode sectoriel (train ou car).
- T est la durée totale de la journée.
- Par conséquent, $(T - T_C)$ est la « période non utile » (au cours de la journée).

Le numérateur de l'indice C met ainsi en rapport le nombre de bus utiles et le nombre de bus non utiles : une valeur égale à n signifie donc qu'au cours de la journée, il passe n fois plus de bus utiles que de bus non utiles, n étant, par construction, compris entre 0 et l'infini ($+\infty$). 0 signifie que le pôle n'est desservi par aucun bus utile (aucune correspondance avec le mode sectoriel n'est aisée) ; $+\infty$ signifie qu'au cours de la journée, tous les bus sont utiles¹⁷

¹⁶ Cohérence pouvant être traduite simplement par le nombre de bus quotidiens s'arrêtant au cours d'une période de 10 minutes précédant -ou succédant à- l'heure d'arrêt d'un véhicule de mode sectoriel au pôle considéré.

¹⁷ Le fait que tous les bus s'arrêtent au cours de périodes utiles se traduit par l'égalité $N = N_C$, c'est-à-dire $(N - N_C) = 0$. Le résultat d'une division d'un nombre entier (N_C) par 0 est bien l'infini.

(permettent une correspondance aisée). Cette dernière valeur mérite une explication : le fait d'exprimer la situation optimale par une grandeur indépendante du volume de l'offre du mode local (c'est-à-dire N) correspond en effet à un choix délibéré. Car du seul point de vue de la synchronisation des horaires du mode local avec ceux du mode sectoriel, que le nombre d'arrivées (ou de départs) de bus quotidiens en un pôle soit égal à 10 ou à 1 000 importe peu : la situation où 10 bus sur 10 permettent une correspondance « peu pénible » ne doit pas être « moins bonne » mais équivalente à celle où 1 000 bus sur 1 000 permettent une telle correspondance, car à moyens donnés (nombre de bus disponibles pour desservir la gare), il est impossible de faire mieux en faveur de la cohérence (d'où la valeur infinie, dans les deux cas). L'avantage est que des situations semblant *a priori* incomparables peuvent être comparées : la petite station de campagne (quelques bus par jour seulement) n'est pas désavantagée par rapport à la grande gare (où l'offre se chiffre en centaines d'arrivées/départs quotidiens de bus), puisque la valeur de $N_c/(N - N_c)$ ne subit pas « l'effet de masse » d'une offre de bus importante (valeur de N élevée).

Notons qu'une valeur infinie du numérateur ne peut cependant, à elle seule, être interprétée comme le résultat d'un choix délibéré de l'opérateur du bus et/ou de l'AO pour favoriser l'intermodalité en tant que priorité absolue : ce n'est certes pas exclu, mais il est possible qu'une telle situation « idéale » soit aussi (plus ou moins) l'œuvre du hasard. Par exemple, les horaires d'une ligne de bus de ramassage scolaire (fixés en fonction de la sortie des classes) pourraient créer l'illusion d'être la conséquence d'un effort de concertation en faveur de la connexion intermodale, pour peu que cette ligne desserve aussi la gare (du fait de son tracé) et que les horaires des trains correspondent incidemment -à 10 minutes près- aux heures d'arrêt de ces bus scolaires à proximité de la gare.

Le dénominateur de l'indice C compare la période utile pour la connexion intermodale à la période non-utile au cours d'une journée : c'est donc une manière de mesurer l'offre du mode sectoriel en termes de potentialités (ou opportunités) pour la connexion intermodale au cours d'une journée (le choix de faire intervenir le rapport $T_c/(T - T_c)$ plutôt que, par exemple, T_c seul pour mesurer cette offre sera justifié plus loin, lors de la discussion de certaines valeurs particulières de l'indice C).

L'objet de ce dénominateur est donc de relativiser la part de bus utiles (numérateur) par les « opportunités de connexion intermodale » offertes par la gare, afin de permettre les comparaisons, même entre situations très différentes. En effet, supposons que deux pôles A et B soient l'un et l'autre desservis par 100 bus quotidiens dont 50 « utiles », mais qu'en A l'offre de mode sectoriel soit 10 fois plus grande qu'en B (c'est-à-dire, par exemple, que le nombre de trains s'arrêtant en A est tel que la période utile au cours de la journée est de 10 heures, contre seulement 1 heure pour le pôle B). Logi-

quement, on peut penser que toutes choses égales par ailleurs, « l'effort » à fournir (en termes de concertation entre divers acteurs concernés) pour faire passer 50 bus sur 100 en période utile est moins important si cette dernière est de 10 heures que si elle n'est que d'une heure. Autrement dit, le dénominateur de l'indice C permet « d'extraire » la part de cohérence horaire (exprimée par le numérateur) non imputable aux avantages liés à une offre de mode sectoriel supérieure. De même que l'option retenue pour le numérateur a permis d'écarter « l'effet de masse de l'offre du mode local », celle retenue pour le dénominateur permet d'éliminer « l'effet de masse de l'offre du mode sectoriel ».

Notons qu'à l'instar de la valeur du numérateur, celle du dénominateur est également comprise entre 0 et $+\infty$: 0 signifie qu'aucun véhicule sectoriel ne s'arrête en ce pôle au cours de la journée, $+\infty$ traduit le cas (hypothétique) où la fréquence du mode sectoriel est telle que toutes les périodes utiles¹⁸ mises bout à bout couvrent l'ensemble de la journée.

L'interprétation de la valeur de C -rapport des deux grandeurs précédentes- mérite quelques remarques.

Pouvant varier de 0 à $+\infty$, C évalue, d'une certaine manière, la place accordée (par les opérateurs de réseaux, les AO...) à la cohérence entre les deux modes, compte tenu des moyens disponibles (c'est-à-dire à quantité donnée de matériel roulant des deux modes).

La tentation est forte d'interpréter cet indice comme une mesure de « l'effort » (par exemple de concertation) des acteurs concernés pour favoriser les correspondances aisées. Sans autre précision, une telle interprétation serait néanmoins abusive. Car C n'est rien de plus qu'une mise en rapport statistique d'horaires, qui ont été fixés à l'issue d'un processus plus ou moins complexe de compromis nécessités par des contraintes de différentes natures et la présence d'autres logiques (plus ou moins prioritaires), sur lesquelles C reste muet. Dans les cas de figure où la valeur de l'indice traduit une place faible ou inexistante de « logique de connexion intermodale » au pôle considéré, ce n'est pas forcément par manque d'« efforts » dans ce sens : d'autres arbitrages ont simplement pu être rendus nécessaires par des spécificités liées au contexte local (dont l'indice C fait totalement abstraction). *A contrario*, une valeur élevée de C ne témoigne pas, à elle seule, d'un « effort important de concertation » en vue d'adapter les horaires du bus à ceux des véhicules du mode sectoriel (Cf. l'exemple de la ligne de bus de ramassage scolaire évoqué plus haut).

Autrement dit, dans l'interprétation de la valeur de l'indice calculé en plusieurs pôles à des fins comparatives, l'expression « effort en faveur de la

¹⁸ Correspondant chacune aux 10 minutes précédant l'heure de départ du véhicule sectoriel ou aux 10 minutes succédant à l'heure d'arrivée de ce véhicule au pôle considéré, selon l'optique choisie (rabattement ou irrigation).

connexion multimodale » ne serait recevable que dans l'hypothèse où toutes choses seraient égales par ailleurs -par exemple dans un cas (théorique) où les opérateurs du mode local seraient seuls à fixer les horaires et, de surcroît, libres de toute contrainte relative au service transport.

Figure 3 : Un indicateur de cohérence intermodale, en un pôle, entre un mode local et un mode sectoriel : l'indice C

$$C = \frac{N_c}{(N - N_c)} \cdot \frac{T_c}{(T - T_c)}$$

N_c	←	Nombre de bus "utiles"	Mesure de la part des horaires cohérents du mode local avec ceux du mode sectoriel	Mesure globale, en un pôle, de la place d'une logique en faveur d'horaires cohérents par rapport à d'autres logiques, à moyens donnés (départs / arrivées quotidiens de véhicules des 2 modes) : mesure de la "vocation interconnectante" du pôle ?
$(N - N_c)$	←	Nombre de bus "non utiles"		
T_c	←	Période "utile"	Mesure des potentialités (opportunités) pour des correspondances "non pénibles"	
$(T - T_c)$	←	Période "non utile"		

La signification concrète de certaines valeurs remarquables (conséquence directe des options retenues pour le numérateur et le dénominateur) mérite d'être soulignée, en vue de faciliter le travail d'interprétation des résultats.

$C = 0$ signifie que parmi les N bus mis à disposition pour desservir un pôle, aucun ne permet une correspondance « aisée » avec un véhicule de mode sectoriel. Autrement dit, pour la connexion intermodale, il est impossible de faire pire.

$C = +\infty$ signifie que la totalité des N bus mis à disposition pour desservir un pôle permettent une correspondance « aisée ». Autrement dit, pour la connexion intermodale, il est impossible de faire mieux (à moyens donnés).

$C = 0/0$. Cette impossibilité mathématique (division de 0 par 0) correspond au cas d'un pôle qui ne serait desservi par aucun bus et par aucun véhicule de mode sectoriel. En l'absence de desserte, parler de qualité de connexion intermodale n'a évidemment aucun sens.

$C = +\infty/+ \infty$. Ce second cas d'impossibilité mathématique correspond à une autre impossibilité de conclure : s'il est vrai que tous les bus s'arrêtant au pôle permettent une correspondance aisée ($+\infty$ au numérateur), la répartition des horaires du mode sectoriel est telle qu'à toute heure de la journée, l'usager du bus trouvera toujours au moins une correspondance aisée (moins de 10 minutes d'attente) avec ce mode ($+\infty$ au dénominateur). En d'autres termes, le fait que tous les bus permettent la correspondance aisée ne signifie

rien : l'offre du mode sectoriel est tellement élevée qu'il ne peut en être autrement !¹⁹

$C = 1$. Pour interpréter la valeur 1 de l'indicateur C , plaçons nous dans un cas hypothétique où la valeur du dénominateur serait égale à 1, c'est-à-dire où la durée de la période utile, au cours d'une journée, est égale à la durée de la période non utile (l'une et l'autre valant donc une demi-journée)²⁰. Puisque $C = 1$ et puisque le dénominateur vaut 1, le numérateur doit également être égal à 1 : concrètement, le nombre de bus utiles est égal au nombre de bus non utiles. On démontre qu'une telle situation correspond, statistiquement (tout au moins si N est suffisamment grand), à une répartition aléatoire des bus entre périodes utiles et périodes non utiles²¹.

$C = n$. Plus généralement, pour une valeur de N élevée, $C = n$ signifie qu'en période utile, il passe n fois plus de bus qu'il n'en passerait si les horaires étaient fixés aléatoirement²². Ainsi, pour un couple de modes (par exemple train et bus) desservant un pôle :

- $0 \leq C < 1$ signifie que le nombre de bus utiles est moins élevé qu'il ne le serait si les horaires avaient été répartis au hasard. Le pôle est, en quelque sorte, un point de connexion intermodale « **anti-cohérente** » (anti-cohérence d'autant plus forte que la valeur de C est proche de 0), situation qu'il serait évidemment hasardeux d'interpréter comme résultant d'une volonté délibérée (de l'opérateur du mode bus et/ou de l'AO) de faire passer ses véhicules en dehors des heures de passage des trains : simplement, des logiques autres que celle de la connexion intermodales sont vraisemblablement à l'œuvre (en raison de diverses contraintes et priorités liées au contexte local) lors de la fixation des horaires des bus.
- $1 < C < +\infty$ signifie que le nombre de bus utiles est plus élevé qu'il ne le serait si les horaires avaient été répartis au hasard. Un tel pôle peut être considéré comme un point de connexion intermodale « **cohérente** » (cohérence d'autant plus forte que la valeur de C est élevée).
- $C = 1$ signifie que le nombre de bus utiles est égal à celui corres-

¹⁹ Notons que ce cas et le précédent résultent d'un choix délibéré, lors de la construction de la formule de C , d'obtenir un indice dont la valeur soit « parlante », facilement interprétable : ces deux « impossibilités » au sens mathématique correspondent à des situations où la place d'une logique en faveur de la cohérence (traduite par la valeur de C) n'est ni « forte », ni « faible », mais bien « impossible à mesurer ».

²⁰ Ce cas d'école (mais qui reste évidemment généralisable à n'importe quel autre cas) présente l'avantage de permettre une compréhension intuitive de la signification concrète des valeurs numériques de C .

²¹ En toute rigueur, $C = 1$ correspond à une « répartition moyenne », obtenue à partir d'une infinité de répartitions aléatoires des bus entre période utile et période non utile.

²² Cela vaut aussi bien pour $n > 1$ que pour $n < 1$: par exemple, $C = 0,25$ indique qu'en période utile, il passe 0,25 fois plus -c'est-à-dire 4 fois moins- de bus qu'il n'en passerait dans le cas d'une répartition aléatoire des horaires de bus.

pendant à une répartition aléatoire des horaires entre période utile et période non utile. Cette situation sera qualifiée de « neutre » (au sens : ni « cohérente » ni « anti-cohérente »), neutralité qu'il faut éviter d'interpréter comme une « indifférence » des acteurs concernés (opérateur, AO) à l'égard de la cohérence des horaires (et donc de la connexion intermodale).

En toute rigueur, ces interprétations ne sont cependant valables que pour un nombre de bus infiniment grand. Dans un cas réel, c'est-à-dire à nombre fini de bus (N) donné, il n'est possible de raisonner qu'en termes de probabilités : la situation de neutralité doit alors être traduite par un intervalle de valeurs (alors qu'elle l'est par une valeur unique, $C = 1$, si $N = +\infty$), que l'on pourrait qualifier de « zone probable de neutralité » (Encadré 1). L'intervalle adopté dans l'étude de cas présentée en seconde partie de cet article est $[0,25, 4]$. Ainsi, selon la valeur de C calculée pour un couple de modes desservant un pôle, ce dernier est assimilé (pour ces 2 modes) à :

- un pôle « significativement cohérent » si $C > 4$;
- à un pôle « significativement anti-cohérent » si $C < 0,25$.

Encadré 1 : La « Zone Probable de Neutralité »

L'étendue de la ZPN (zone probable de neutralité) dépend de N, du rapport $T_c / (T - T_c)$, et du seuil de signification α choisi (par exemple, on fixe $\alpha = 0,05$ si une probabilité d'une chance sur 20 de se tromper est considérée comme acceptable). A titre indicatif, nous calculons ci-après la borne supérieure de la ZPN à partir d'un cas fictif.

Soit un pôle desservi quotidiennement par 10 bus (plus exactement : 10 horaires, correspondant à 10 arrivées de bus ou 10 départs de bus, suivant que l'on s'intéresse au rabattement vers le pôle ou à l'irrigation depuis le pôle) et où $T_c / (T - T_c) = 1$, c'est-à-dire où la durée de la période utile est égale à celle de la période non utile.

Une application de la distribution binomiale permet de calculer la probabilité de différents résultats possibles d'une répartition aléatoire de ces 10 bus (chaque bus a une probabilité d'une chance sur deux d'être utile) et, par conséquent, de différentes *combinaisons* de ces répartitions. Parmi ces dernières, retenons celle dont la probabilité est égale au (plus exactement : la plus proche du) seuil de signification α choisi : si $\alpha = 0,05$ (une chance sur 20), cette combinaison de répartitions est « 8 ou plus de bus utiles » contre « moins de 3 bus non utiles ».

$$\left[\frac{10!}{10!0!} \left(\frac{1}{2}\right)^{10} \left(\frac{1}{2}\right)^0 \right] + \left[\frac{10!}{9!1!} \left(\frac{1}{2}\right)^9 \left(\frac{1}{2}\right)^1 \right] + \left[\frac{10!}{8!2!} \left(\frac{1}{2}\right)^8 \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right] \approx 0,05$$

Si les horaires sont fixés aléatoirement, la probabilité que la proportion de bus utiles soit supérieure ou égale à 80 % ($8/10 \Rightarrow 4$ bus utiles pour un bus non utile $\Rightarrow C=4$) est donc d'environ une chance sur 20, probabilité pouvant être considérée, en première approximation, comme « négligeable ». En d'autres termes, il est statistiquement « presque impossible » (au seuil de signification $\alpha = 0,05$) qu'une valeur $C > 4$ soit due à une répartition aléatoire des 10 bus entre une période utile et une période non utile de même durée. La valeur 4 peut donc ici être retenue comme

borne supérieure de la ZPN. Un raisonnement analogue permet d'en fixer la borne inférieure : 0,25. Dans cet exemple, la ZPN est donc l'intervalle [0,25,4].

Généralisation

Soit S la borne supérieure de la ZPN (avec $1 < S < +\infty$; la borne inférieure de la ZPN est $1/S$). Pour une valeur de S « suffisamment élevée » (dans l'exemple précédent, $S = 4$), la probabilité p qu'une répartition aléatoire de N bus entre période utile et période non utile corresponde à une valeur de C supérieure ou égale à S peut être considérée comme négligeable (à seuil de signification α donné), en sachant cependant que :

- On démontre que toutes choses égales par ailleurs, la probabilité p augmente lorsque N diminue : par exemple, pour $T_c / (T - T_c) = 1$ et $S = 4$ (Cf. l'exemple traité), $p=0,006$ pour $N=20$; $p=0,02$ pour $N=15$; $p=0,05$ pour $N=10$... Dans une étude de cas, il convient donc de vérifier, pour les cas « extrêmes » (pôles desservis quotidiennement par un nombre de bus très faible), si la probabilité p peut bien être considérée comme négligeable.

- On démontre que toutes choses égales par ailleurs, lorsque $T_c / (T - T_c)$ varie (entre 0 et $+\infty$), la probabilité p décroît jusqu'à un minimum, puis augmente*. Dans une étude de cas, il convient donc de vérifier si p peut toujours être considérée comme négligeable pour les configurations « extrêmes » : valeurs de $T_c / (T - T_c)$ « très faibles » (par exemple, une période utile de seulement 1 heure au cours d'une journée) ou « très élevées » (période utile couvrant la quasi-totalité de la journée).

- Toutes choses égales par ailleurs, l'étendue de la ZPN augmente lorsque le seuil de signification α diminue.

Conclusion

Au total, dans une étude de cas présentant des configurations de pôles très contrastées (en termes de desserte par les deux modes considérés), il serait sans doute souhaitable d'ajuster la ZPN au cas par cas (la faire varier d'un pôle à l'autre).

* Notons que la répartition de bus entre période utile et période non utile correspondant à ce minimum dépend de la valeur de S : dans l'exemple traité plus haut ($S=4$), ce minimum correspond à 6 bus utiles pour 4 bus non utiles (la valeur de la probabilité p est alors de 0,03).

2. LA CONNEXION INTERMODALE DANS LE BASSIN MINIER DU NORD-PAS-DE-CALAIS

L'application *in situ* proposée ici, c'est-à-dire le calcul des indicateurs précédents sur un cas d'association de trois modes de transport collectif desservant une partie du bassin minier du Nord-Pas-de-Calais, date de l'époque où a été réalisée l'étude ayant servi de point de départ au présent article (1997). Cet état de fait ne devrait cependant pas nuire au propos essentiellement méthodologique de ce dernier, en dépit de l'obsolescence (tant sur le plan de l'organisation territoriale que sur celui des opérateurs de réseaux) dont souffre le contexte décrit ci-dessous, remontant à une dizaine d'années. Un résumé des principaux changements majeurs intervenus depuis (organisation territoriale et des transports) est proposé à l'Encadré 2.

Encadré 2 : Évolution du contexte de la zone d'étude

Par rapport au contexte décrit dans le cadre de cet article, un certain nombre de changements majeurs sont intervenus depuis 10 ans sur le terrain d'étude choisi, tant sur le plan de l'intercommunalité que sur celui de l'organisation des transports collectifs (RICHER, 2007). Les principaux peuvent être résumés comme suit.

- *Le District de l'Artois (Béthune)* s'est transformé en Communauté d'Agglomération (CA) de l'Artois (de 39 communes en 1999 à 58 communes). Pour former cette CA, le District a intégré le SIVOM des deux cantons, le SIVOM de la région d'Auchel et trois communes, mais a perdu six communes de la communauté de communes (CC) de Noeux et Environs (formant une sorte de « vide » au sein de la CA).

- *Le District de Lens-Liévin* s'est transformé en CA de Lens-Liévin, sans changer de périmètre (36 communes).

- *Le District de Henin-Carvin* s'est transformé en CA de Henin-Carvin sans changer de périmètre (14 communes).

- *Concernant le mode local :*

Entre 1999 et 2002, il y a eu quatre PTU transitoire : un sur la CA de l'Artois, un sur la CA de Lens-Liévin, un sur la CA de Henin-Carvin et un sur le CC de *Noeux et Environs* (six communes).

En 2003, les CA de Lens-Liévin et de Henin-Carvin ont formé le Syndicat Mixte de Transport Lens-Liévin-Henin-Carvin, formant un PTU de 50 communes composé de deux CA.

En janvier 2006, la CA de l'Artois (ArtoisComm) et la CC de Noeux et Environ (CCNE) ont, à leur tour, adhéré à ce Syndicat Mixte.

Courant 2007, *Tadao* (nom commercial de l'opérateur desservant Lens-Liévin-Henin-Carvin) et *ArtoisBus* (nom commercial de l'opérateur de Noeux-Artois) seront fusionnés sous une seule et même bannière. Le réseau couvrira alors 114 communes et concernera 600 000 habitants.

- *Concernant le mode sectoriel :*

Le groupe Via-Transport, rebaptisé Keolis, est devenu une filiale de la SNCF.

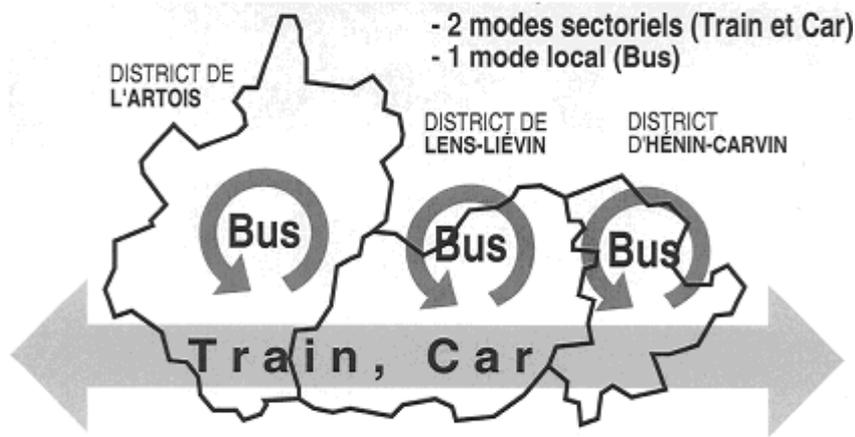
Le terrain d'étude correspond à la partie du bassin minier du Nord-Pas-de-Calais qui, en 1997, est formée par les trois districts de l'*Artois*, de *Lens-Liévin* et d'*Henin-Carvin* ; il est alors parcouru et irrigué par quatre réseaux de transport : le TER, le car SNCF, le car interdistrictal et le bus. Les deux premiers assurent le même type de service (liaison entre les trois districts **et** liaison entre ces derniers et le reste de la Région) et sont, de surcroît, tous deux gérés par la SNCF : ils seront, pour ces raisons, assimilés, dans la suite de notre propos, à un mode unique, appelé simplement « **train** ». Le car interdistrictal (ou, simplement, « **car** ») offre un service comparable à celui du train (tel que défini précédemment), mais est géré (en 1997) par le groupe VIA-Transport. Le **bus** (réseau intradistrictal) assure une desserte au sein d'un district et est également géré par ce même groupe VIA-Transport (Figure 4).

Ces caractéristiques font des 3 districts retenus un terrain particulièrement adapté à l'étude de l'interconnexion de type multimodal : non seulement il satisfait à toutes les conditions requises pour que le thème de l'interconne-

xion puisse y être abordé²³, mais de plus, certaines spécificités relatives à la gestion des réseaux en présence permettent de contourner les difficultés d'une étude diachronique que nécessiterait, en principe, un travail dont l'objet est de tester la pertinence et l'intérêt pratique d'un indicateur destiné à mesurer l'effet d'une politique d'amélioration de la connexion intermodale. Car au lieu d'une comparaison « avant/après », nous pouvons proposer une comparaison entre deux couples de modes²⁴ -couple (Train ; Bus) d'un côté, couple (Car ; Bus) de l'autre- ces couples étant à la fois comparables et différents :

- comparables, puisque l'un comme l'autre sont formés d'un mode interdistrictal (ou sectoriel) et d'un mode intradistrictal (ou local);
- différents, car les modes sont gérés par deux opérateurs distincts (SNCF et Groupe VIA-Transport) dans le premier cas, par un même opérateur (VIA-Transport) dans le second.

Figure 4 : Terrain d'étude : Trois districts du bassin minier du Nord-Pas-de-Calais, desservis par trois modes



C'est ce second point -la différence- qui est à l'origine de l'hypothèse testée dans le cadre de l'étude de cas proposée : le car et le bus étant gérés par un même opérateur, ne peut-on supposer qu'il est plus simple d'assurer la cohérence des horaires de ces deux modes que dans le cas de modes gérés par deux opérateurs distincts, comme c'est le cas pour le couple (Train ; Bus) ? En d'autres termes, ne peut-on s'attendre à des valeurs de l'indice de cohé-

²³ Selon DUPUY (1988), ce type d'interconnexion n'a en effet de sens que lorsqu'elle implique « au moins deux réseaux, deux exploitations, deux territoires différents qui vont se combiner, s'interpénétrer, peut-être fusionner » : c'est donc une double dimension -pluri-modale et multi-scalaire- qu'elle met en jeu. Or c'est bien le cas sur le territoire étudié, qui est desservi par plusieurs modes, assurant une desserte à plusieurs échelles différentes et gérés par plusieurs exploitants.

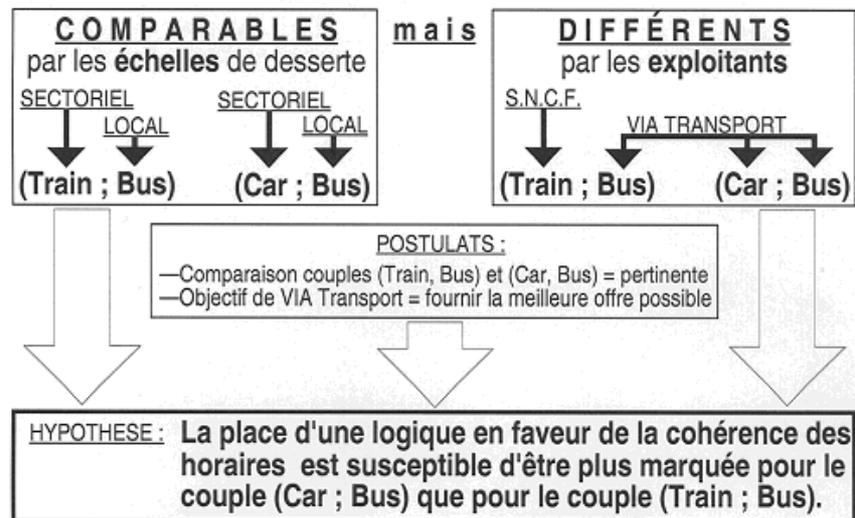
²⁴ Dans la suite de notre propos, nous parlerons de modes de transport, bien que deux d'entre eux -le bus et le car- relèvent du mode routier et bien que le troisième soit mixte (TER + car SNCF).

rence (C) supérieures pour le couple (Car ; Bus) que pour le couple (Train ; Bus) ?

Sans doute une telle hypothèse est-elle sujette à controverse, ne serait-ce qu'en raison de l'image de trompeuse simplicité qu'elle offre concernant la prise de décision en matière d'horaires de bus : car il faut bien reconnaître que, dans les faits, la coordination dans ce domaine dépend souvent, en premier lieu, de l'entente entre Autorités Organisatrices (AO) et de l'importance qu'elles veulent (et peuvent) accorder à la connexion de leur réseau avec d'autres.

En dépit de son caractère excessivement simplificateur, cette hypothèse (Figure 5) -qui présuppose, par ailleurs, que le Car et le Train assurent le même type de service et que l'objectif des « décideurs » (en matière d'horaires) est de maximiser l'offre (à moyens donnés)- servira néanmoins de fil conducteur à la présentation de l'étude de cas proposée ci-dessous.

Figure 5 : Les deux couples (Train ; Bus) et (Car ; Bus)



2.1. COMPLÉMENTARITÉ INTERMODALE

De prime abord, la complémentarité entre les deux modes de chacun des couples retenus -(Train ; Bus) et (Car ; Bus)- ne fait aucun doute : les points de l'espace géographique desservis par ces réseaux n'étant pas tous confondus, une correspondance entre deux modes ne peut qu'élargir le territoire accessible. Mais par-delà ce constat, résultant d'une simple comparaison visuelle entre plans de réseaux, se pose la question de la quantification de cette complémentarité : celle-ci est-elle « suffisante » pour justifier la pertinence d'une analyse de la cohérence entre modes ? La mesure de la complémentarité représente donc une nécessaire étape préalable à ce type d'analyse. C'est en vertu de cette qualité d'étape *préalable* -et non pas centrale- que

nous avons décidé d'adopter un outil de mesure assez fruste -l'accessibilité topologique à une correspondance-, mais présentant l'avantage de la simplicité et pouvant être calculé au moyen du logiciel relativement rudimentaire (CRAPO) disponible au moment de l'étude²⁵ (notons qu'au cours des 10 dernières années, les outils de ce type ont considérablement évolué ; Encadré 3).

Les caractéristiques du logiciel CRAPO (notamment l'impossibilité de traiter un nombre de données trop important) ont, par ailleurs, influé sur la modélisation du terrain : nous avons ainsi considéré que la commune était la plus petite unité territoriale, *a priori* indivisible, et pouvant donc être réduite à un point (pôle), connecté -ou non- aux autres « communes-points » par les différents réseaux (ou leur association, sous contrainte d'une seule rupture de charge au maximum)²⁶.

Encadré 3 : Les limites du logiciel CRAPO*

Le logiciel CRAPO appartient à la famille de modèles d'offre de transport fondés sur la théorie des graphes. Cette famille compte également RETIS (de la RATP), MATISSE (INRETS) et, plus récemment, MAP et NOD qui, inspiré des travaux de MATHIS (avec son modèle D-LOCAT développé dans les années 1980), est né de l'association de deux logiciels conçus pour fonctionner ensemble : MAP, développé par L'HOSTIS (à l'INRETS-TRACES, aujourd'hui au LVMT), conçu pour la modélisation, la création et l'élaboration de graphes de réseau de transport, ainsi que pour la visualisation et la construction de représentations graphiques des résultats du logiciel NOD (CHAPELON, Maison de la Géographie de Montpellier), qui permet d'effectuer des calculs sur les graphes.

Par rapport au logiciel CRAPO, MAP et NOD propose plusieurs avancées importantes :

- Par la méthode du zoom nodal, il est possible d'intégrer des éléments d'une échelle géographique plus fine que l'échelle principale d'étude, dans le but de mieux décrire les chaînes multimodales de déplacement des voyageurs. Le champ d'application du modèle MAP et NOD peut donc concerner aussi bien les systèmes de villes (par exemple le réseau de transport européen à grande vitesse) que les fragments urbains (par exemple les déplacements dans une gare multimodale). Selon ce principe du zoom nodal, la résolution du modèle s'étend de l'aire continentale aux cheminements piétonniers fins sur un quai de gare par exemple.

- S'il est vrai que, comme les logiciels de sa famille, MAP et NOD repose sur la théorie des graphes (aussi bien pour la modélisation que par l'exploitation d'indi-

²⁵ CRAPO -Conception des Réseaux Assistée Par Ordinateur- est un logiciel développé au début des années 1990 (JIANG, 1993). Il s'inspire directement de RETIS, logiciel élaboré au sein de l'Unité Prospective « Réseau 2000 » de la RATP pour étudier les qualités connectives de réseaux de lignes d'autobus.

²⁶ Une telle simplification, dont l'objet est d'assimiler un espace géographique (surface) à un réseau polaire (semis de points), n'est évidemment recevable que dans l'hypothèse où chaque commune comporte un et un seul « pôle » principal où convergent les différents réseaux irriguant cette dernière. Dans les quelques cas où cette hypothèse s'est avérée erronée, nous avons procédé à un redécoupage des communes concernées en deux -parfois trois- pôles. De ce fait, le nombre de pôles est légèrement supérieur au nombre réel de communes (105 au lieu de 86), nombre restant acceptable eu égard aux capacités limitées du logiciel CRAPO.

cateurs d'accessibilité et de mesure des réseaux de transport), l'originalité du modèle par rapport à la théorie des graphes classique est l'emploi du concept de graphes valués, les développements horaires ayant, de surcroît, donné lieu à un formalisme adapté qui enrichit encore ce concept (distinction entre les réseaux à accessibilité permanente et les réseaux à accessibilité temporaire).

- Du côté des interfaces, MAP comporte un module de création de graphes, à partir d'images scannées de cartes, et les résultats peuvent être injectés dans des logiciels de cartographie et des logiciels graphiques (par le biais de fichier au format DXF). L'articulation avec les SIG est également envisageable.

- ...

Ainsi, tous les calculs d'accessibilité (assez frustes) réalisés dans le cadre de cet article pourraient l'être à l'aide de MAP et NOD. En outre, la programmation du calcul de l'indicateur C ne devrait poser aucun problème, ni sur le plan théorique, ni sur celui de la faisabilité.

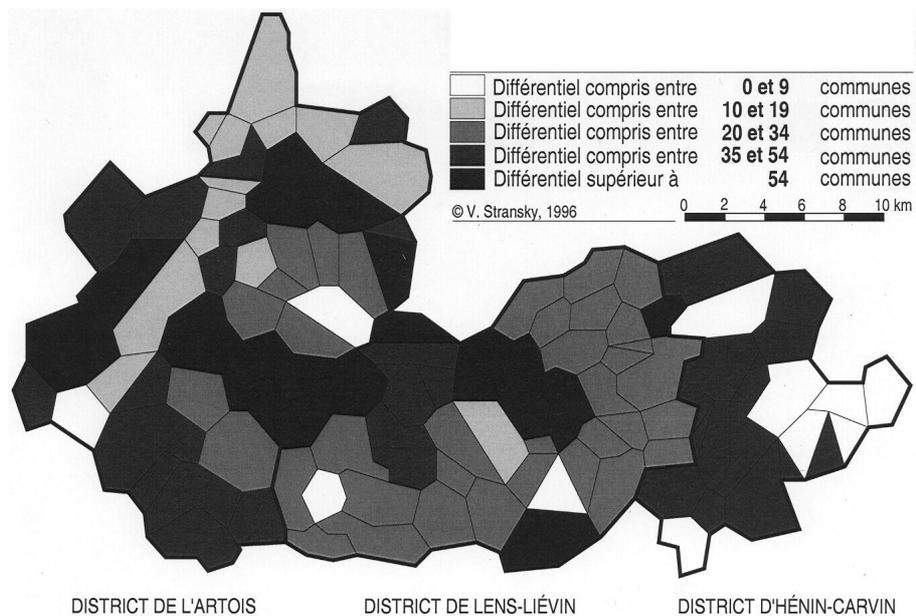
* Cet encadré reprend des éléments des pages web rédigées par Alain L'HOSTIS, relatives au logiciel MAP et NOD : <http://archives.cerma.archi.fr/inventur/inventur056.html>

Compte tenu des objectifs de l'étude, ce n'est pas l'accessibilité en elle-même (nombre de communes accessibles *via* un réseau ou une combinaison de deux réseaux) qui nous intéresse, mais les différentiels d'accessibilités, permettant de mesurer le « supplément d'accessibilité » d'un mode sectoriel par rapport au seul mode local (bus). Pour chaque commune est donc calculé, tout d'abord, le nombre d'autres communes accessibles (avec une correspondance au maximum) par le seul mode bus, puis le nombre de communes accessibles par la combinaison de modes « bus + train », d'une part, « bus + car », d'autre part (dans les deux cas avec une correspondance au maximum). Les différentiels d'accessibilité sont obtenus en calculant la différence entre chacun de ces deux derniers résultats et le premier.

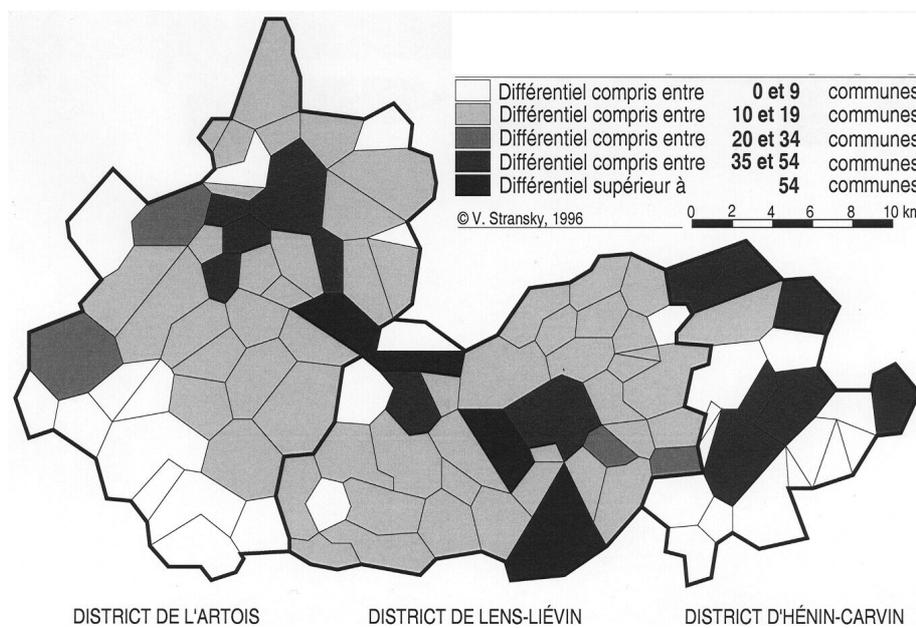
Les Cartes 1 et 2 montrent que la quasi-totalité des communes bénéficient, à différents degrés, d'un supplément d'accessibilité topologique du fait de la présence d'autres modes que le bus. Cet apport -exprimé en nombre de communes supplémentaires accessibles- de chacun des deux modes sectoriels est-il suffisant pour justifier la recherche, par l'exploitant du mode bus, de l'interconnexion avec ces modes ? On peut le supposer d'autant plus aisément que les différentiels calculés ne font intervenir que les seules communes des trois districts étudiés : en réalité, le nombre de lieux supplémentaires (par rapport au bus) que les modes sectoriels permettent d'atteindre est bien plus élevé, puisqu'il inclut ceux desservis par ces modes en dehors des trois districts considérés (en particulier Lille, Villeneuve d'Ascq, Dunkerque, Boulogne, Valenciennes, Arras... pour ne citer que les principaux). A cet égard, on peut signaler que la manifeste prépondérance (Cartes 1 et 2) du mode car par rapport au mode train (du point de vue de son « apport d'accessibilité au mode bus ») ne prend évidemment pas en compte cette accessibilité « vers l'extérieur » du terrain d'étude. Elle s'explique simplement par un nombre de lignes de car nettement plus élevé que celui des lignes de train : sur les trois districts, le nombre de communes directement desservies par le car ne peut

alors qu'être supérieur au nombre de communes directement desservies par le train.

Carte 1 : Différentiels d'accessibilité entre [Bus + Car] et [Bus]



Carte 2 : Différentiels d'accessibilité entre [Bus + Car] et [Car]



2.2. COHÉRENCE AUX POINTS D'INTERCONNEXION TRIPLE

En permettant de caractériser, en un pôle donné, la place apparente d'une logique en faveur de la cohérence des horaires d'un couple de modes, l'indicateur C peut servir à confirmer -ou à infirmer- l'hypothèse de la prépondérance de cette logique dans le cas de modes gérés par le même groupe : il suffit pour cela de comparer les valeurs de C , calculées respectivement pour le couple (Car ; Bus) et pour le couple (Train ; Bus).

Ces calculs n'ont été réalisés qu'aux seuls pôles pertinents compte tenu de notre hypothèse : il s'agit de 14 « points d'interconnexion triple », c'est-à-dire de 14 gares TER desservies, en outre, par le Car et le Bus, et offrant la possibilité de la correspondance (proximité entre stations des différents modes). Les 14 pôles ainsi définis présentent une grande variabilité en termes d'offre de transport : ainsi, alors que Béthune est desservie quotidiennement par 70 trains, 120 cars et 240 bus, Mazingarbe ne l'est que par 6 trains, 20 cars et 10 bus. L'intérêt d'avoir construit un indicateur C qui tienne compte des moyens mis en œuvre -donc qui permette de comparer entre elles des situations à ce point disparates, allant de la « petite gare de campagne », avec un nombre de véhicules quotidiens de l'ordre de la dizaine, à la grande gare urbaine où ce nombre se chiffre par centaines- n'en apparaît que plus évident.

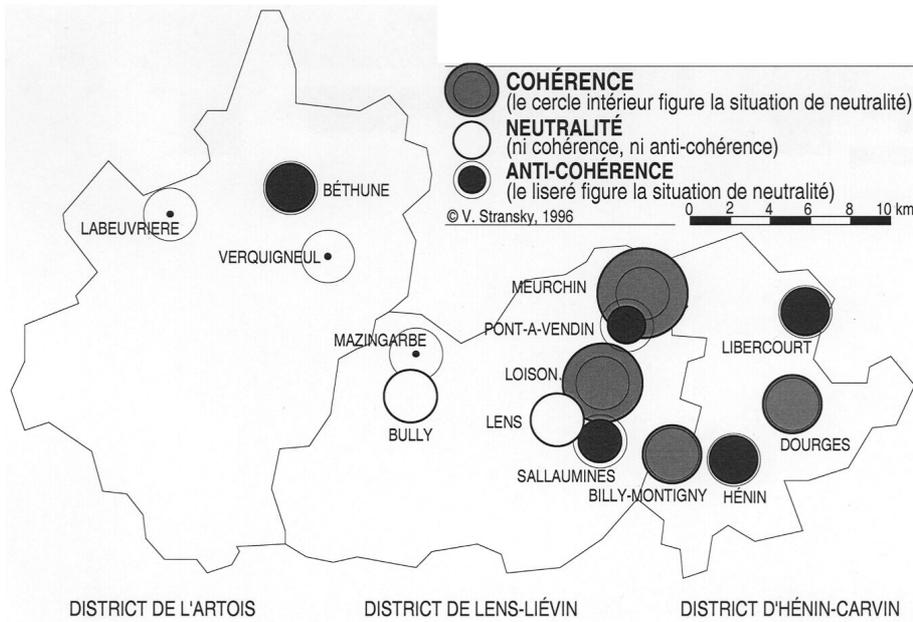
Les résultats ont été reportés sur des fonds de carte, chaque pôle étant représenté par un cercle de *surface* proportionnelle à la valeur de C . Ainsi, compte tenu de notre définition de la « cohérence significative » ($C > 4$), un pôle sera cohérent si le cercle qui le représente a un diamètre au moins double de celui d'un pôle en situation de « neutralité » ($C = 1$) telle que définie précédemment.

Quatre cartes ont été réalisées puisque, pour chaque couple de modes, C est calculé pour les deux formes de complémentarité : « l'irrigation » (desserte fine, grâce au bus, du territoire du district à partir des stations du mode sectoriel) et le « rabattement » (bus utilisé pour « drainer » le district vers les stations de mode sectoriel). Les Cartes 3 et 4 illustrent le cas de l'irrigation (Bus-Train et Bus-Car).

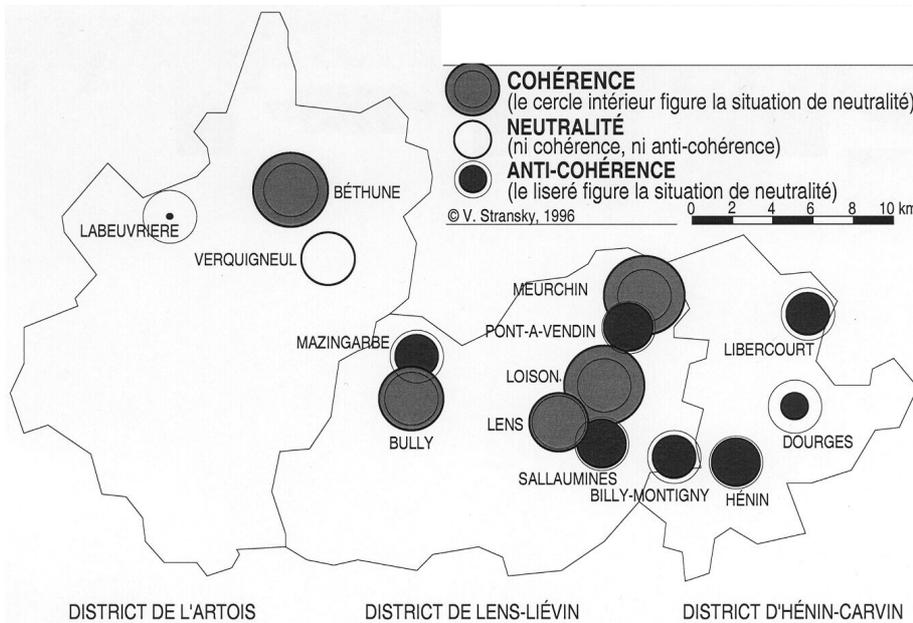
L'interprétation de ces cartes et, plus généralement, de tous les résultats présentés ci-après, est à considérer avec les réserves afférentes aux limites de l'indice C , mentionnées en première partie de cet article.

Ce qui frappe en premier lieu, c'est l'absence généralisée de points de connexion intermodale cohérente : aux rares pôles où $C > 1$, la cohérence n'est pas significative au sens où nous l'avons définie. Les deux autres cartes (non présentées dans le cadre de cet article) -relatives au rabattement Bus-Train et Bus-Car- montrent une situation analogue, avec seulement, pour chacune, 2 pôles sur 14 où la valeur de C est très légèrement supérieure à 1.

Carte 3 : Cohérence irrigation Train-Bus



Carte 4 : Cohérence irrigation Car-Bus



La prédominance d'une logique en faveur de la cohérence des horaires n'est manifeste pour aucun des deux couples de modes : considérés sur l'ensemble de la journée, les horaires ne semblent donc pas organisés de manière à optimiser les correspondances intermodales. Mais ce résultat ne pourrait-il être la conséquence d'un « effet de moyenne », dû au caractère agrégé de

l'indicateur C ? Ne cache-t-il pas des disparités liées à d'éventuelles spécificités organisationnelles à certaines périodes précises uniquement ? En particulier, dans l'optique orientée sur l'offre de transport de cet article, il semble nécessaire de distinguer, au moins, les heures creuses des heures de pointe, la « logique de connexion intermodale » pouvant n'être prioritaire (par rapport à d'autres logiques -de desserte locale, par exemple) que pour ces dernières. En d'autres termes, la journée pourrait ne pas constituer l'unité de temps pertinente pour analyser la cohérence des horaires.

Après avoir recalculé C aux différents pôles et pour les différents cas, mais en opérant une distinction de première approximation entre « heures de pointe » (6h30-8h30 et 17h30-19h30) et « heures creuses » (le reste de la journée), huit cartes ont été produites²⁷, parmi lesquelles seules deux sont présentées ici à titre illustratif, celles relatives à l'irrigation en heure de pointe (Cartes 5 et 6).

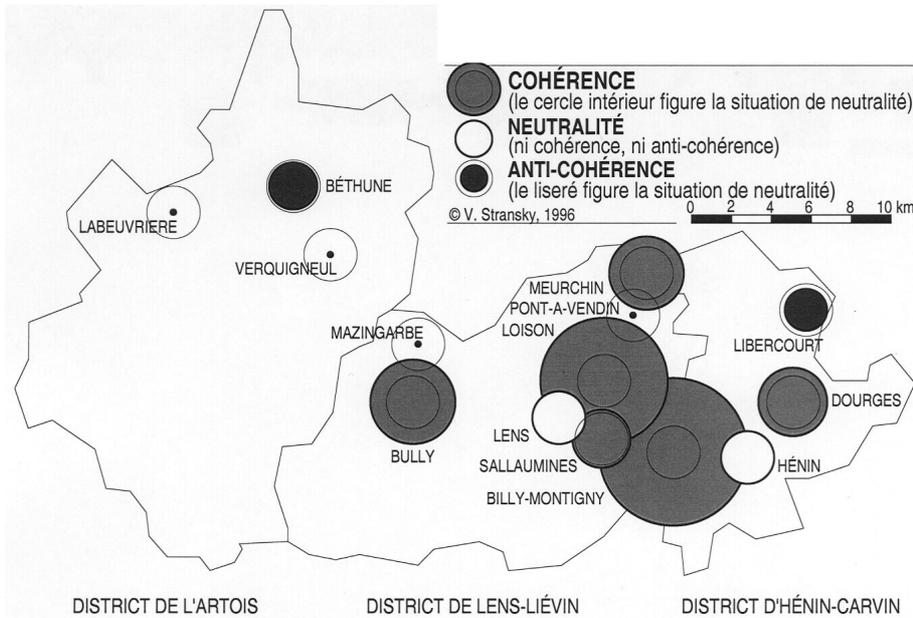
Par rapport aux Cartes 3 et 4, quatre pôles « significativement cohérents » sont apparus (deux pour chaque couple de modes), avec des valeurs de C supérieures ou égales à 6 pour trois d'entre eux. Néanmoins, si la pertinence de la distinction « heure de pointe/heures creuse » semble avérée, l'hypothèse d'une présence plus affirmée d'une logique en faveur de la cohérence des horaires pour le couple (Bus ; Car) n'est pas confirmée puisque, globalement, le nombre de pôles cohérents est le même pour les deux couples²⁸.

Par-delà ce constat, on peut noter aussi que la comparaison des huit cartes évoquées plus haut suggère une « spécialisation fonctionnelle » des pôles étudiés, au sens où ceux-ci peuvent assurer un rôle de connexion intermodale cohérente sous des formes très variées : rabattement Bus-Train en heure de pointe pour certains, irrigation Car-Bus en heure creuse pour d'autres, etc. Le plus souvent, cette spécialisation est exclusive (par exemple, la très forte « vocation interconnectante » -apparaissant clairement sur la Carte 5- de la gare de Billy-Montigny ne concerne que la seule irrigation Train-Bus, et seulement en heure de pointe : dans tous les autres cas, cette gare est neutre ou anti-cohérente). Mais il arrive aussi que certains pôles cumulent plusieurs « spécialités » (en heure de pointe, Loison est un point de connexion intermodale significativement cohérente aussi bien entre le bus et le car qu'entre le bus et le train, mais seulement du point de vue de l'irrigation). Cependant, il faut bien reconnaître que pour la plupart des pôles, la logique de cohérence des horaires ne semble pas prédominante (et, pour nombre d'entre eux, $C = 0$ dans tous les cas de figure : quelle que soit la période de la journée et pour les deux couples de modes).

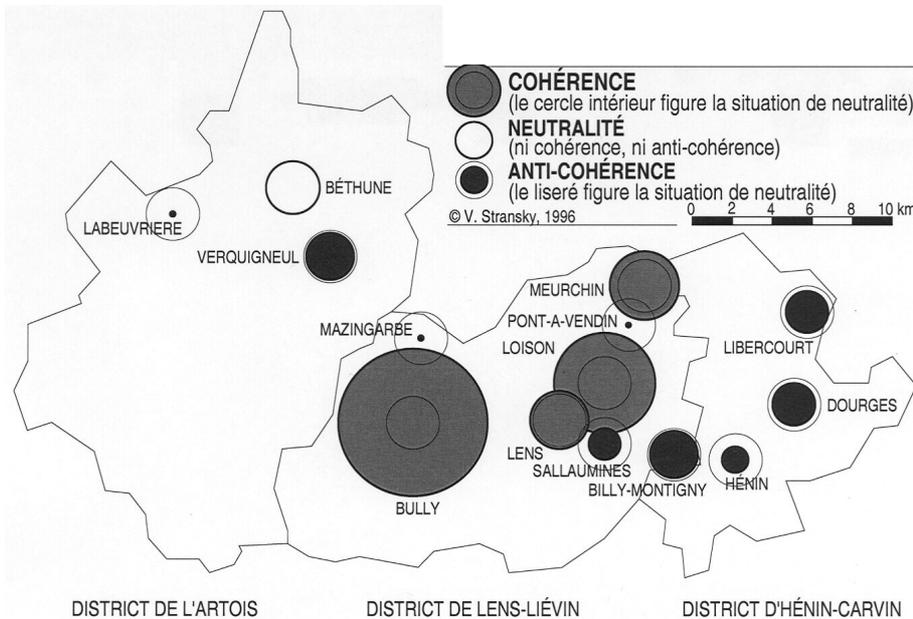
²⁷ Pour chaque période (heure de pointe ou heure creuse), deux cartes pour l'irrigation (Train-Bus et Car-Bus) et deux pour le rabattement (Bus-Train et Bus-Car).

²⁸ Si on dénombre, sur les huit cartes (irrigation et rabattement, heure de pointe et heure creuse), les pôles significativement cohérents, on constate que chaque couple de modes n'en compte, en tout, que trois !

Carte 5 : Cohérence irrigation Train-Bus, heure de pointe



Carte 6 : Cohérence irrigation Train-Car, heure de pointe



La séparation entre heure creuse et heure de pointe ayant montré les biais induits par un calcul de C sur la journée prise dans son ensemble, il convient de s'interroger également sur la pertinence d'une autre forme d'agrégation -non plus temporelle mais spatiale- concernant les différentes lignes desservant un pôle : la présence, en un pôle, de quelques lignes de bus aux horaires

« anti-cohérents », n'occulte-t-elle pas, par « effet de moyenne », d'éventuelles situations de forte cohérence pour d'autres lignes ?

Pour le savoir, nous avons calculé C non plus en agrégeant l'ensemble des lignes de bus en une seule « ligne virtuelle », mais ligne par ligne : un pôle n'est plus caractérisé par une seule valeur, mais par un nombre de valeurs égal à celui des lignes de bus qui le desservent (ce nombre varie considérablement d'un pôle à l'autre : de 1 à 17).

Afin de visualiser ces résultats, nous avons opté pour une représentation polygonale, où chaque sommet du polygone correspond à une ligne de bus ; quant aux pôles desservis par une ou deux lignes, ils ont été représentés respectivement par un cercle ou par deux demi-cercles accolés. Du fait des exigences de toute représentation surfacique d'une valeur (où la *surface* d'une figure est proportionnelle à C), la distance entre un sommet et le centre du polygone varie comme la racine carrée de C : ainsi, l'articulation entre une ligne de bus et un mode sectoriel sera considérée comme « significativement cohérente »²⁹ si le sommet représentant cette ligne est distant du centre du polygone d'une valeur au moins double de celle correspondant à une situation de neutralité. Afin que les comparaisons visuelles restent possibles, les polygones représentatifs de la situation de neutralité ont tous la même surface.

Comme précédemment, les calculs ont été faits en opérant la distinction heure de pointe / heure creuse ; huit cartes ont donc été produites, les Cartes 7 et 8 correspondant au cas de l'irrigation en heure de pointe.

Les formes très irrégulières des représentations graphiques des pôles révèlent d'importantes disparités entre lignes de bus du point de vue de la cohérence de leurs horaires avec ceux des modes sectoriels. Par exemple, l'étoile irrégulière à sept (longues) branches représentant la gare de Lens (Carte 7) indique que sur les dix-sept lignes de bus desservant ce pôle, sept sont « significativement cohérentes », c'est-à-dire que leurs horaires témoignent de la prépondérance d'une logique en faveur de la correspondance aisée avec le train. En plus de confirmer (en l'affinant) la « spécialisation fonctionnelle des pôles » évoquée plus haut³⁰, les calculs de C ligne par ligne permettent d'analyser la « répartition directionnelle » de la desserte assurée par celles des lignes de bus dont les horaires sont fortement cohérents avec un mode sectoriel. Par exemple, dans le cas de l'irrigation en heure de pointe, parmi les 3 lignes de bus desservant la gare de Bully, une est « significativement cohérente » avec le train, les deux autres le sont avec le car. Ce type de

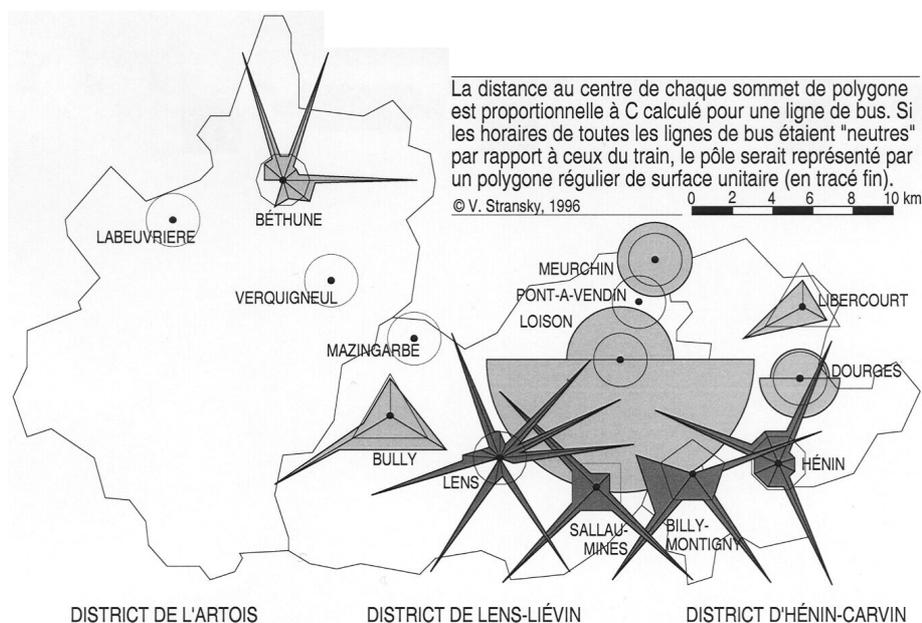
²⁹ Une ligne de bus est « significativement cohérente » lorsque la valeur de C, calculé à partir des horaires des véhicules du mode sectoriel et de ceux des bus circulant sur cette ligne, est supérieure ou égale à 4.

³⁰ Par exemple, la comparaison des huit cartes (non toutes présentées dans le cadre de cet article) permet de constater que la gare de Hénin ne compte des lignes de bus cohérente qu'avec le train, et uniquement en heure de pointe.

complémentarité de desserte directionnelle peut être observé pour d'autres gares, notamment Béthune et Lens (puisque la répartition directionnelle des branches de ces étoiles est différente selon qu'il s'agit du train ou du car). Est-ce la conséquence d'un « effort » (par exemple de concertation) pour assurer une offre de transport donnant la possibilité, à des usagers répartis dans différentes communes d'un district, d'accéder en bus à un point de connexion intermodale où ils trouveront une correspondance aisée avec au moins un mode sectoriel ? Un tel résultat, qui nécessiterait d'être confirmé par une enquête *in situ*, serait intéressant au sens où il témoignerait d'une logique de coordination -du moins en certains pôles- non seulement entre bus et train, d'un côté, bus et car, de l'autre, mais également entre les trois modes à la fois.

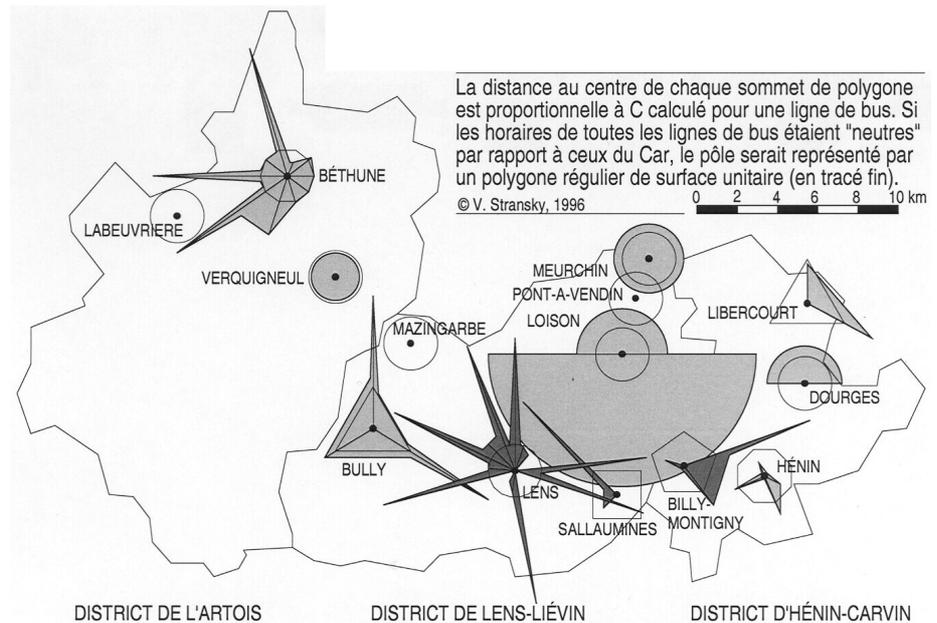
Toujours est-il que les dissemblances très nettes entre polygones représentant un même pôle sur deux cartes différentes pourraient laisser supposer que certaines lignes de bus seraient « spécifiquement dédiées » à l'interconnexion avec un mode sectoriel à une période de la journée, que d'autres seraient mises au service de l'interconnexion avec l'autre mode sectoriel (ou avec le même mode à un autre moment de la journée), et que d'autres, enfin, seraient régies par des logiques différentes de celle de la cohérence horaire avec un mode sectoriel (par exemple, desservir une école à l'heure de la sortie des classes)³¹.

Carte 7 : Cohérence ligne par ligne (Bus), irrigation Train-Bus, heure de pointe



³¹ Un entretien avec les acteurs concernés serait évidemment nécessaire pour confirmer une telle interprétation.

Carte 8 : Cohérence ligne par ligne (Bus), irrigation Car-Bus, heure de pointe



Une définition moins contraignante de la cohérence pourrait alors être proposée, en considérant qu'un pôle est « significativement cohérent » dès lors qu'au moins l'une des lignes de bus le desservant est elle-même significativement cohérente. Dans cette hypothèse, le nombre de tels pôles se trouve démultiplié par rapport aux Cartes 5 et 6, passant de deux à sept (en pointe) et ce, aussi bien pour l'irrigation Train-Bus que pour l'irrigation Car-Bus. Si, avec cette nouvelle définition, la connexion intermodale cohérente devient un phénomène moins marginal (sur les Cartes 7 et 8, un pôle sur deux est désormais « significativement cohérent »), l'hypothèse d'une meilleure articulation entre modes gérés par le même exploitant ne s'en trouve pas pour autant confirmée : en nombre de pôles cohérents, il y a égalité entre train et car³².

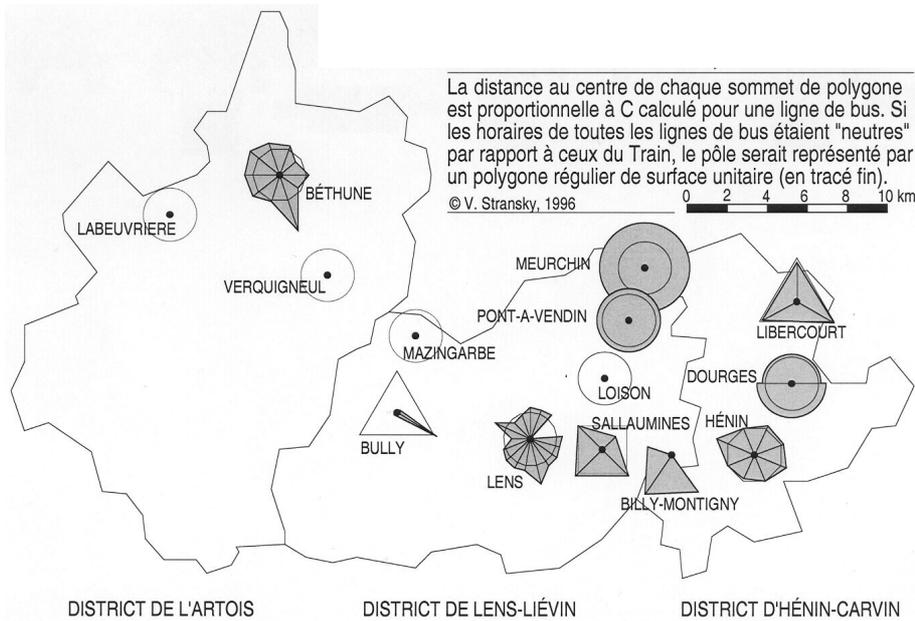
Certes, en heure creuse, la situation est un peu différente (Cartes 9 et 10) : s'il est vrai que, par rapport aux Cartes 7 et 8, le nombre de gares offrant une possibilité de connexion intermodale significativement cohérente est nettement moins élevé³³, ce « déficit de cohérence » (comparativement à l'heure de pointe) est plus marqué pour le couple (Bus ; Train) que pour le couple (Bus ; Car), le premier comptant un seul pôle cohérent contre trois pour le

³² On retrouve approximativement ce résultat pour le rabattement en heure de pointe, où le nombre de pôles cohérents est de 5 (rabattement Bus-Train) contre 7 (rabattement Bus-Car), différence qui ne peut être considérée comme significative.

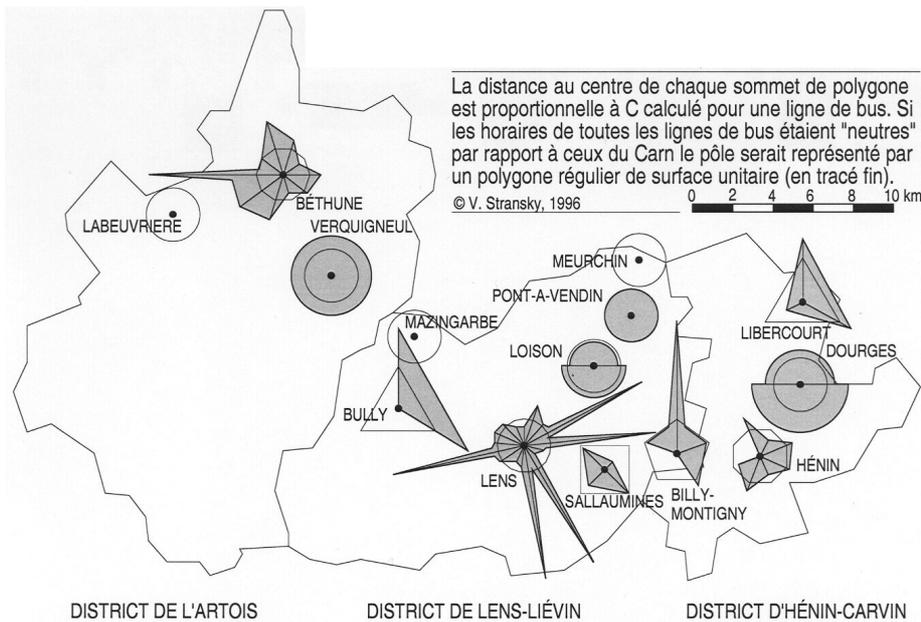
³³ Ce qui tendrait à montrer que la logique en faveur d'horaires permettant des correspondances aisées est plus « présente » en heure de pointe qu'en heure creuse -résultat en accord avec le sens commun.

second. Cette différence est d'ailleurs moins nette dans le cas de l'irrigation en heure creuse (cartes non présentées), avec 2 pôles cohérents pour le couple (Bus ; Train) contre 3 tels pôles pour le couple (Bus ; Car).

Carte 9 : Cohérence ligne par ligne (Bus), rabattement Bus-Train, heure creuse



Carte 10 : Cohérence ligne par ligne (Bus), rabattement Bus-Car, heure creuse



Mais compte tenu de la faiblesse de ces valeurs numériques, il n'est pas certain que cet apparent « avantage » en faveur du couple (Bus ; Car) puisse être considéré comme significatif.

En somme, l'hypothèse de la meilleure coordination des horaires des modes bus et car (hypothèse dont le rôle n'était que de servir de fil conducteur à la présentation de cette rapide étude de cas) n'est donc pas confirmée. En d'autres termes, le fait que deux réseaux soient gérés par un même opérateur (Groupe Via-Transport) ne semble pas être une condition suffisante pour garantir qu'une « place » plus importante de la logique en faveur des correspondances aisées soit clairement perceptible au travers de la cohérence des horaires des deux modes (local et sectoriel).

Divers éléments d'explication de ce résultat (outre ceux mentionnés au début de l'étude de cas à propos de la fragilité de l'hypothèse en question) peuvent être avancés :

- En premier lieu, il convient d'évoquer l'ambiguïté relative à l'échelle de desserte territoriale d'un des modes étudiés -le car. Nous avons en effet postulé que ce dernier était un mode de transport sectoriel, comparable au train. Toutefois, la longueur des inter-stations, voisine de celle du bus, peut laisser supposer que le « rôle sectoriel » du car soit doublé d'un rôle de desserte locale -en particulier celui de « rabattement » vers les gares du TER et « d'irrigation » à partir de ces gares- rôle qui, tout au long de cet article, était supposé être dévolu au seul mode bus. Dans cette hypothèse, en subissant la double contrainte des exigences de coordination horaire non seulement avec le mode bus mais également avec le mode train, le car paierait, en quelque sorte, le tribut de sa vocation non pas équivalente à celle du train, mais **intermédiaire**, impliquant la superposition de logiques potentiellement contradictoires (en termes d'horaires) et susceptible de se manifester par le « déficit de connexion intermodale cohérente avec le bus » constaté au travers des calculs de l'indicateur C^{34} .

- Ensuite, il faut bien reconnaître que les différences -en termes de capacité, de vitesse d'exploitation, de lieux desservis en dehors du terrain d'étude...- entre le train et le car plaideraient en faveur d'une association Train-Bus plutôt que Car-Bus. Dans ces conditions, ne peut-on supposer que la « pression de la demande pour une connexion intermodale aisée » de la part des usagers soit plus forte dans le cas du couple (Train ; Bus) que dans celui du couple (Train ; Car) ?

- Enfin, et peut-être surtout, il n'est pas évident qu'au sein d'un grand groupe

³⁴ S'inscrivant dans la continuité de cette étude, la mise en évidence -par le biais du calcul de C- de pôles de correspondance cohérente entre le train et le car permettrait d'asseoir cette hypothèse du « double rôle » du car, c'est-à-dire du caractère complémentaire -et non pas redondant- des modes considérés comme exclusivement « interdistrictaux » tout au long de cet article.

(tel que Via-Transport), la coordination entre réseaux relevant de deux niveaux territoriaux différents (exploitations urbaines pour l'un, interurbaines pour l'autre) aille de soi.

CONCLUSION

Dans la mesure où une association de plusieurs modes complémentaires pensée de façon cohérente peut être un facteur d'amélioration considérable de l'offre combinée de transport, il est essentiel que techniciens et élus locaux aient la possibilité de mesurer les conséquences de certaines décisions en matière de connexion intermodale.

Cet article constitue une première réponse à ce besoin en proposant une méthode d'évaluation de l'ampleur -ou de l'inexistence-, sur un terrain donné, de « logiques de connexion intermodale » -tout au moins celles pouvant être traduites en termes d'horaires.

Certes, l'approche proposée n'est pas exempte de limites, notamment toutes celles inhérentes au recours à des indicateurs quantitatifs de ce type (par exemple ceux issus de la théorie des graphes) : l'indice C ne saurait, à ce titre, être mis en œuvre qu'en tant qu'élément, parmi d'autres, d'une démarche plus complète.

Sur le plan pratique, à propos de l'étude de cas succincte ayant servi de prétexte au calcul de l'indice C, il convient également de souligner que son apport, dans cet article, ne tient pas aux résultats numériques proprement dits (dont l'interprétation à des fins d'aide à la décision ne saurait, de toute façon, se passer d'un important travail de terrain complémentaire relatif aux spécificités locales). Son intérêt est d'un autre ordre : d'une part, elle illustre le caractère adaptable de l'indice C (calculé ici de trois manières différentes) ; d'autre part -et surtout-, elle permet d'attirer l'attention sur les inévitables améliorations que nécessiterait le calcul de l'indice dans le cadre d'une étude à vocation opératoire³⁵.

Il n'en reste pas moins qu'en offrant la possibilité de traduire, en termes de variation de la « qualité de connexion intermodale », l'effet d'aménagement des horaires aux points de correspondance, la démarche proposée permet de tester plusieurs scénarios pour retenir la ou les solutions optimisant³⁶ cette qualité. Ce problème de l'optimisation n'est pas simple, notamment du fait de la multiplicité des pôles de connexion intermodale potentielle, du caractère

³⁵ En particulier, toutes les valeurs forfaitaires adoptées dans le cadre de cet article (temps d'attente « acceptable » lors d'une correspondance, temps d'arrêt des véhicules en un pôle, temps nécessaire pour effectuer la correspondance, bornes de la « zone probable de neutralité »...) sont susceptibles d'être adaptées au cas par cas (sans toutefois remettre en cause le principe de la démarche proposée). Dans cet ordre d'idée, la sensibilité des résultats à la variation du temps d'attente maximum admissible pour qu'une correspondance soit « aisée » (par exemple 5 minutes, 15 minutes... au lieu des 10 minutes convenues dans cet article) mériterait d'être testée.

combinatoire des réseaux (L'HOSTIS et al., 2004 ; L'HOSTIS, BAPTISTE, 2006) et de la qualité variable de transmission des flux par le réseau : un aménagement des horaires en un pôle se répercute à d'autres pôles, pas toujours dans le sens escompté, ni de manière « intuitivement prévisible ». Le recours à la simulation (à l'aide de calculs d'indicateur) des effets d'une politique de connexion intermodale des réseaux et à la visualisation de la répartition territoriale de ces effets semble alors inévitable.

A cet égard, en matière d'outils d'aide à l'orientation des politiques d'aménagement du territoire exploitables par les collectivités locales, la pertinence et l'utilité d'un dispositif léger, facilement adaptable et ne nécessitant aucune collecte de données (les horaires des modes en présence étant le seul *input* requis) n'en apparaissent que plus évidentes.

BIBLIOGRAPHIE

BERNEY P. (1989) Du bon usage de l'interconnexion. **Cahiers de l'IAURIF**, n° 86, pp. 8-16.

CAPINERI C. (1994) Interconnectivity: its role in network structural and functional evolution. **Communication au séminaire NECTAR**. Vienne.

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**. Université de Tours, Thèse de doctorat.

CHAPELON L., L'HOSTIS A., MATHIS Ph. (1997) Approcher l'accessibilité, par quels critères ? **Grandes infrastructures de transport et territoires**. INRETS, pp. 129-155 (Actes INRETS n° 60).

DESPORTES M. (1995) La notion de connexion : tentative de définition. **Villes et Territoires : actes du séminaire 1991-94, Tome 2**, Paris, Plan Urbain, pp. 143-152.

DIJST L., DE JONG T., VAN ECK J.R. (2002) Opportunities for transport mode change : an exploration of a disaggregated approach. **Environment and Planning B : Planning and Design**, Vol. 29, n° 3, pp. 413-430.

DUPUY G. (1988) Les interconnexions. **Transports et sociétés**. **Transports**, n° 331, pp. 430-431.

³⁶ Le critère choisi pour cette optimisation étant calqué sur le point de vue du passager supposé utiliser l'offre combinée de plusieurs modes, « optimiser » signifie répartir les moyens disponibles de manière à assurer une offre de transport aussi performante que possible. Évidemment, cette notion d'optimisation peut intégrer d'autres critères, liés, par exemple, au choix d'une politique d'aménagement du territoire : un élu peut ainsi vouloir intervenir sur ce dernier par le biais d'une certaine structure de l'offre de transport, structure aussi bien spatiale (privilégier l'offre en certains lieux) que temporelle (privilégier l'offre à certaines périodes).

DUPUY G., STRANSKY V. (1996) Cities and Highway Networks in Europe. **Journal of Transport Geography**, Vol. 4, n° 2, pp. 107-121.

ESPOON Project 1.2.1 (septembre 2004) **Transport services and networks: territorial trends and basic supply of infrastructure for territorial cohesion**. Rapport final du projet européen (n° 1.2.1) d'ORATE (Observatoire du Réseau de l'Aménagement du Territoire Européen).

JIANG J. (1993) **Conception assistée par ordinateur des réseaux de transport (modèle interactif graphique CRAPO)**. Université Paris XII, Thèse de doctorat, 394 p.

KWAN M.-P. (1998) Space-time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point based framework. **Geographical Analysis**, Vol. 30, n° 3, pp. 191-216.

LEVY J. (1994) **L'espace légitime : sur la dimension géographique de la fonction politique**. Paris, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, 442 p.

L'HOSTIS A., MENERAULT Ph., DECOUIGNY Ch. (2004) Assessing Spatial Planning Policy with Accessibility Indicators: the case of Lille's Metropolis Scenario. In M. BEUTHE, V. HIMANEN, A. REGGIANI, L. ZAMPARINI (ed.) **Transport developments and Innovations in an Evolving World**. Springer, pp. 293-312 (series: Advances in Spatial Sciences).

L'HOSTIS A., BAPTISTE H. (2006) A Transport network for a City network: Analysing the quality of the public transport service in the Nord-Pas-de-Calais region. **European Journal of Spatial Development**, Refereed Articles, n° 20, 18 p. (<http://www.nordregio.se/EJSD/refereed20.pdf>).

L'HOSTIS A., DECOUIGNY C. (2001) **Scheduled accessibility in the multi-modal transport network of the Nord-Pas-de-Calais region: measures of the transport service for the assessment of the spatial planning policy**. Helsinki, European NECTAR Conference.

L'HOSTIS A. (2000) Multimodalité et intermodalité dans les transports. L. CHAPELON **Atlas de France : transport et énergie**. GIP RECLUS/La Documentation Française, 11, pp. 99-112.

MARGAIL F. (1995) Connessione, interconnessione, interfaccia,... : elementi semantici. **Archivio di studi urbani e regionali**, Vol. 24, n° 53, pp. 7-17.

MARGAIL F. (1996) De la correspondance à l'interopérabilité : les mots de l'interconnexion. **Flux**, n° 25, pp. 28-35.

MATHIO J.C. (1986) L'interconnexion : une restructuration des réseaux RATP et SNCF. **Cahiers du Groupe Réseaux**, n° 4, pp.175-191.

MATHIS Ph. (ss la dir.) (2003) **Graphes et réseaux-modélisation multi-niveau**. Paris, Hermes Science Lavoisier, 365 p.

- MENERAULT Ph. (1996) Transport ferré régional et interconnexions dans la métropole lilloise : quelques rendez-vous manqués. **Transports urbains**, n° 93, pp. 25-30.
- MENERAULT Ph. (2002) Définitions : Interconnexion et intermodalité dans la théorie territoriale des réseaux. **Glossaire Transport (à paraître)**. C.N.d.G.d. Transports.
- MENERAULT Ph., STRANSKY V. (1997) **Corrélation multi-scalaire et intermodale de l'offre des réseaux de transport**. Lille, rapport INRETS/LATTS.
- MENERAULT Ph., STRANSKY V. (1999) La face cachée de l'intermodalité-essai de représentation appliquée au couple TGV/air dans la desserte de Lille. **Les Cahiers Scientifiques du Transport**, n° 35, pp. 29-53.
- MERCADIER M. (1998) Les schémas multimodaux de services de transports. **Métropolis**, n° 106/107, pp. 108-111.
- NEIERTZ N. (1994) Étude d'un mode d'interconnexion des réseaux : le cas d'aéroports de Paris. **Transports urbains**. n° 84, pp. 15-22.
- PLASSARD F. (1990) Interconnexions et nouvelles polarités. In **Les couloirs Rhin-Rhône dans l'espace européen**. Lyon, LET, pp. 291-307.
- RICHER C. (2005) Les transformations récentes de l'intercommunalité en matière de transport. In C. GALLET, Ph. MENERAULT (Dir.) **Recomposition intercommunale et enjeux des transports publics en milieu urbain**. Recherche PREDIT Go 11, Convention ADEME-INRETS n°C03-13, pp. 25-49.
- STRANSKY V. (1997) Une métrique de l'interconnexion. In Ph. MENERAULT, V. STRANSKY **Corrélation multi-scalaire et intermodale de l'offre des réseaux de transport**. Lille, rapport INRETS/LATTS, pp. 38-138.
- STRANSKY V. (2006) Les espaces des pôles d'échanges : de multiples composantes et des acceptions variées. In Ph. MENERAULT (ss la dir.) **Les pôles d'échanges-état des connaissances, enjeux et outils d'analyse**. Lyon, CERTU, pp. 80-95.
- VARLET J. (1992) **L'interconnexion des réseaux de transport en Europe**. Paris, I.T.A., Vol. 24, n° 1 (ed. français/anglais), 198 p.