



HAL
open science

Transports collectifs et initiative individuelle. Approche des transports collectifs artisanaux par l'auto-organisation et les systèmes multi-agents.

Léa Wester

► **To cite this version:**

Léa Wester. Transports collectifs et initiative individuelle. Approche des transports collectifs artisanaux par l'auto-organisation et les systèmes multi-agents.. Géographie. Aix Marseille Université, 2018. Français. NNT: . tel-02390083

HAL Id: tel-02390083

<https://theses.hal.science/tel-02390083>

Submitted on 2 Dec 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Transports collectifs et initiative individuelle

Approche des transports collectifs artisanaux par l'auto-organisation et les systèmes multi-agents

Aix Marseille Université
ED 355 - Espaces, Cultures, Sociétés
UMR 7300 ESPACE

Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Université d'Aix-Marseille en Géographie
Présentée et soutenue publiquement le 8 juin 2018

Léa WESTER

Sous la direction de Sébastien OLIVEAU, Maître de Conférences HDR, Université d'Aix Marseille
et de Frédéric AUDARD, Maître de Conférences, Université d'Aix Marseille

2018

Membres du jury :

- Jean Philippe ANTONI, Professeur, Université de Bourgogne
- Frédéric AUDARD, Maître de Conférences, Université d'Aix Marseille
- Lourdes DIAZ-OLVERA, Chargée de Recherche, Ministère de l'Ecologie
- Françoise DUREAU, Directrice de Recherche honoraire, IRD
- Jérôme LOMBARD, Directeur de Recherche, IRD
- Sébastien OLIVEAU, Maître de Conférences HDR, Université d'Aix Marseille
- Léna SANDERS, Directrice de Recherche au CNRS



Remerciements

Au moment de rédiger ces remerciements, je prends conscience de l'ampleur de la tâche et je m'excuse d'avance de ne pouvoir nommer tous ceux qui ont participé à cette aventure de doctorat.

En premier lieu, je remercie Frédéric Audard et Sébastien Oliveau sans qui rien n'aurait été possible. Merci à Frédéric Audard de m'avoir fait confiance et de m'avoir soutenue depuis le master. Merci à Sébastien Oliveau pour son encadrement et sa générosité qui m'ont permis de mener ce travail jusqu'au bout.

Je remercie également Jean-Philippe Antoni, Lourdes Diaz-Olvera, Françoise Dureau, Jérôme Lombard et Léna Sanders d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

Je remercie toute l'équipe de l'UMR ESPACE pour m'avoir accueillie et accompagnée tout au long de ce travail. J'ai une reconnaissance particulière pour tous les doctorants qui sont devenus docteurs et m'ont montré la voie : Marion Borderon, Yoann Doignon, Joël Quercy ; et tous ceux qui suivront, notamment Florian Masse. J'en profite également pour exprimer toute ma gratitude envers Lionel Kieffer qui m'a soutenue tout au long de ce travail. Merci également aux géographes aixois Vincent Laperrière et Samuel Carpentier.

Je dois beaucoup aux chercheurs rencontrés ces dernières années et il me serait bien difficile de tous les nommer ici. Parmi eux, Rémi Desmoulière, Pablo Salzar Ferro et Julien Allaire ont particulièrement collaboré aux présentes réflexions. Merci à eux. Plus largement, je remercie la CODATU pour son soutien et son travail pour les transports urbains. Ma reconnaissance va au réseau MAPS, notamment à tous les participants de l'école d'été MAPS 8. Je remercie particulièrement Arnaud Banos pour ses précieux conseils.

Je remercie également tous les doctorants de l'association ADRESS avec qui nous avons partagé cette transition de l'étudiant au chercheur Francesco Binaghi, Morgane Dujmovic, Solène Rivoal, Claire Boer, Marion Breteau, Simon Dubois... Je remercie l'administration de l'ED355, Sylvie Milhet et Laëtitia Rous-Luzy, pour leur accueil toujours souriant.

Au cours de mes missions de terrain, j'ai eu l'occasion de collaborer avec de nombreuses personnes qui ont chacune enrichi mon expérience de recherche. Je remercie donc l'IRD-Lima, en particulier toute l'équipe du programme PACIVUR dont Pascale Metzger, Alexis Sierra et Pauline Gluski pour leur accueil. J'ai une dette particulière envers Patrick Bitsindou qui a accompagné mes premiers pas à Brazzaville. J'aimerais nommer tous les stagiaires, chercheurs plus ou moins jeunes, collaborateurs, enquêteurs ou colocataires qui ont participé à faire de ces séjours une belle expérience professionnelle comme personnelle. Je prends le parti de vous remercier collectivement.

Plus que jamais, le savoir est une construction collective. Je dois beaucoup à tous ceux qui ont passé quelques minutes ou quelques heures sur un problème thématique, méthodologique ou technique et à tous ceux qui ont répondu à une question sur un forum ou une mail-list. Ils sont nombreux et je les remercie d'avoir pris le temps de partager leurs savoirs. Je remercie particulièrement Mattieu Coulon pour son soutien technique et Laurence Reboul pour ses conseils.

Je suis également reconnaissante envers tous ceux avec qui j'ai partagé un bureau. Les incontournables discussions de machine à café m'ont permis d'avancer, en particulier : Camille Michel et Ana Aldoma, qui resteront toujours les premières ; Sandra et Loïc, pour notre co-working charentais.

Je remercie ma famille, mes parents et mes frères et soeurs pour m'avoir poussée à continuer dans cette voie. Merci Marie d'avoir toujours été là. J'ajoute une mention spéciale pour mes amis Iris, Claire, Céline, Marina, Lucas, Thomas, Mohammed. Merci de m'avoir supportée et encouragée, d'avoir relu des brouillons, écouté mes premières communications et discuté de mes premiers cours. Cette aventure n'aurait pas été la même sans vous. Merci également à tous les acromonkeys marseillais pour la confiance.

Finalement, je dédie ce travail à Mélaine, parce que j'ai toujours besoin d'une boussole : merci de m'avoir rappelé quotidiennement où est l'essentiel.

Introduction Générale

Les villes sont de plus en plus grandes et difficiles à gérer. Elles génèrent inégalités et pollutions malgré les nombreux programmes d'orientation, de développement ou d'aménagement que produisent les institutions internationales. En 1996, les objectifs de la conférence *Habitat II* mise en place par l'ONU étaient d'identifier comment arrêter la dégradation des villes et ainsi proposer de grandes orientations pour une ville plus durable et équitable. La lutte contre la pauvreté et les inégalités, ainsi que la protection des groupes sociaux vulnérables, était au cœur des débats [ONU, 1996]. La conférence a réuni à Istanbul de nombreux acteurs publics et privés du développement urbain : gouvernements, collectivités territoriales, organisations internationales, associations. Elle s'est conclue par la publication d'un plan d'action mondial détaillant de nombreux outils et techniques utilisables pour parvenir aux objectifs en intégrant tous les acteurs de la construction urbaine. 20 ans plus tard, *Habitat III*, à Quito en 2016, conserve les mêmes objectifs d'une ville plus durable, en mettant l'accent plus fortement sur les questions environnementales. Progrès notable parmi les thèmes traités, les acteurs et les productions du secteur informel sont pris en compte. En effet, après l'intégration de tous les acteurs privés et publics dans la concertation avec *Habitat II*, la dernière conférence souligne l'importance de la société civile et du secteur informel [ONU, 2016]. Les rapports appellent à la co-construction de la ville en intégrant acteurs institutionnels et citoyens, dans les secteurs formels comme informels. Ce deuxième circuit de l'économie urbaine, tel que le désigne Milton Santos [Santos, 1975], joue un rôle important dans la construction de la ville aujourd'hui. Des quartiers résidentiels autoconstruits aux services et infrastructures mis en place par la société civile, de nombreuses métropoles se structurent en partie en dehors de toute planification [Azaïs and Steck, 2011]. Les transports que nous étudions prennent part à ces processus d'évolution urbaine.

De manière générale, les transports occupent une place particulière dans le développement des villes. Ils interagissent avec toutes les facettes de l'écosystème urbain : la cohésion sociale et spatiale, le développement économique et l'équilibre environnemental sont autant d'aspects de la durabilité urbaine qui sont reliés aux questions de transports et de mobilité. La mobilité permet la construction d'une certaine forme de cohésion urbaine. Les inégalités d'accès créent des marges et des disparités [Bourdin, 2007]. Sur le plan environnemental également, le développement d'alternatives efficaces au véhicule personnel motorisé s'impose. Économiquement, la fluidification de l'espace urbain facilite les activités génératrices de croissance [Aydalot, 1985]. Dans le contexte de l'accélération des échanges, l'injonction à la mobilité se généralise et oriente les aménagements à toutes les échelles [Ascher, 2010]. Dans

leur dimension quotidienne, les mobilités soulèvent des enjeux sociaux et spatiaux multiples en milieu urbain. La ville est un système spatial parcouru par des flux de diverses natures et orientations. Les formes urbaines suivent et créent le rythme des mobilités [Bourdin, 2007].

Il a été largement démontré que l'utilisation privée généralisée de l'automobile n'est ni souhaitable ni accessible à tous [Orfeuill, 1994] [Dupuy, 1999]. De nombreux déplacements quotidiens utilisent encore des moyens non motorisés en Asie, en Afrique ou en Europe. Parallèlement, les transports collectifs sont devenus un idéal de développement respectueux de l'environnement depuis la fin du XX^{ème} siècle. La nécessité de promouvoir le déplacement collectif et les modes doux pour limiter les externalités négatives liées à l'utilisation de l'automobile s'est imposée il y a déjà longtemps [Wolkowitch, 1992]. Dans les villes des Suds, à faible taux de motorisation, l'enjeu des transports collectifs est d'autant plus important qu'il s'agit d'un levier de développement, et de développement durable.

De nombreuses villes à travers le monde n'ont pas de services de transports collectifs centralisés et institutionnalisés. Autrement dit, il n'y a pas d'offre de transports collectifs qui soit organisée par une autorité centralisatrice publique ou privée. Dans ce contexte, les besoins de mobilité des citoyens ne sont pas satisfaits, notamment en cas de faible taux de motorisation. Des solutions alternatives sont apparues sous forme artisanale. Ces transports artisanaux fournissent aujourd'hui des moyens de déplacement en dehors de toute centralisation et reposent sur des micro-entreprises, des artisans indépendants [Godard, 2008]. Ces transports non institutionnels restent l'unique solution de déplacement pour des millions de citoyens à travers le monde. Ils reposent sur une organisation totalement distribuée et fonctionnent grâce à une certaine forme de circulation de l'information qui se passe — pour l'instant — des nouvelles technologies¹. Ils couvrent de fait de multiples enjeux qui dépassent le simple cadre de la mobilité. Ce phénomène d'organisation non centralisée permet de répondre à des enjeux sociaux à partir du secteur dit "informel". De tels systèmes pourraient être porteurs d'innovation dans le domaine des transports en commun ou plus largement en s'intéressant aux modes d'organisation. La dimension technique de l'organisation du service se couple à des aspects spatiaux, économiques, sociaux et politiques.

Le transport artisanal participe également d'un questionnement plus méthodologique. En tant que service non institutionnel, non planifié et totalement décentralisé, la multiplicité des acteurs force à élaborer de nouvelles approches. L'autonomie et l'indépendance, variables, des acteurs du secteur nous amènent à considérer le transport artisanal comme un système

1. Récemment, des solutions technologiques sont apparues pour faciliter la communication entre passagers et chauffeurs de transports collectifs artisanaux [Williams et al., 2015]; à Nairobi par exemple [Wester, 2017]. Ce phénomène reste exceptionnel à ce jour.

auto-organisé. Les éléments qui composent le système interagissent sans centralisation, sans objectif commun. Les structures qui résultent de processus d'auto-organisation ont des propriétés particulières [Kauffman, 1995]. Nous analysons ici leurs implications dans le cas de systèmes de transports collectifs. D'une part, les questionnements autour de la compréhension et l'utilisation de l'auto-organisation de manière complètement théorique sont toujours un champ de recherche fécond, en témoignent les publications régulières du Santa Fe Institute [Holland, 2014] [Miller, 2016] [West, 2017]. De manière générale, les sciences de la complexité profitent de l'amélioration des outils informatiques pour explorer de nouvelles possibilités. Le lien entre ces théories sans cesse affinées et les sciences humaines mérite d'être fait, et les phénomènes étudiés en géographie s'y prêtent d'autant plus du fait de leur dimension spatiale et multiscalaire. D'autre part, la dimension auto-organisée des transports artisanaux est porteuse d'innovation en termes de modes d'organisation du transport, d'adaptation à la demande et de modèle économique. L'approche par les sciences de la complexité et la modélisation pourrait permettre de comprendre et d'expliquer ces propriétés spécifiques. Nous cherchons à avancer dans le sens de la prise en compte de ces transports pour de nouvelles approches d'aménagement. À travers ce double enjeu scientifique, notre travail se situe au croisement entre problématiques théoriques, épistémologiques et développement de savoirs appliqués.

Concrètement, comprendre et expliquer des phénomènes complexes pose un certain nombre de défis méthodologiques et techniques. Tout d'abord à l'échelle macro, les structures spatiales générées par les transports artisanaux peuvent être analysées par des méthodes cartographiques et statistiques. À ce niveau du système, l'élaboration d'une base de données constitue le défi principal. Cependant, une structure décentralisée qui repose uniquement sur des interactions entre éléments doit être appréhendée également à l'échelle de chaque élément. L'analyse des processus d'émergence permet de faire le lien entre ces différentes échelles. La compréhension des relations entre éléments et échelles dans un système complexe pose des défis méthodologiques pour l'acquisition des données et la compréhension des processus. La formalisation et la modélisation nécessaires à la construction des connaissances s'inscrivent donc naturellement dans des approches dynamiques. Le rôle central joué par les configurations spatiales dans le transport artisanal confère à cette thématique un enjeu particulier pour le géographe. Les questionnements qui peuvent sembler très économiques, politiques ou psychologiques autour des stratégies des équipages de véhicules sont également spatiaux. Les relations complexes qui relient l'espace aux transports collectifs relèvent à la fois de l'interface entre l'offre et la demande, des questions urbaines et des structures des réseaux. Les

configurations spatiales sont ici au centre des enjeux. L'espace n'est pas seulement le support des processus, il participe aux interactions qui structurent les systèmes de transports collectifs.

Cheminement

Les transports artisanaux forment donc des systèmes aux caractéristiques particulières. Sans planification, ils répondent aux besoins de transports collectifs de millions de citoyens à travers le monde. Quelles sont les particularités liées à la mobilité collective des pays du Sud et à faible taux de motorisation ? Comment des systèmes de transports alternatifs fonctionnent et s'adaptent à une demande immédiate ? Quels facteurs permettent d'expliquer les caractéristiques de ces systèmes ?

Afin d'explorer leurs structures et leurs dynamiques, plusieurs approches sont nécessaires. D'une analyse statique à des propositions de modélisation dynamiques, la compréhension du fonctionnement et l'explication des processus qui sous-tendent ce phénomène sera notre fil conducteur tout au long de ce manuscrit. Nous avons tenté de respecter le déroulement de notre recherche tout en conservant une approche pédagogique. Le présent texte se compose donc de trois parties qui nous amènent du transport artisanal observé à des propositions de modélisations géographiques statiques et dynamiques appliquées aux cas étudiés. Les questions que soulèvent ces modèles nous amènent ensuite à construire de nouveaux modèles théoriques pour des cas plus généraux.

La première partie s'intéresse aux enjeux des transports artisanaux en lien avec les questions de mobilité et de développement urbain. Ce phénomène reste incontournable dans les villes à faible taux de motorisation. Il répond à des besoins de mobilité qui ne sont pas satisfaits par des services institutionnels, publics ou privés. Cependant, leur efficacité doit être nuancée par un certain nombre d'externalités négatives qui sont tantôt liées au contexte économique tantôt aux caractéristiques du transport artisanal. Du général au particulier, nous présentons les enjeux globaux des transports artisanaux dans un premier chapitre puis les caractéristiques des cas de Lima et Brazzaville dans le chapitre suivant. Les modes d'organisation observés en détail à Lima et Brazzaville montrent que l'adaptabilité de ces systèmes repose sur la grande autonomie des équipages de véhicules.

Notre deuxième partie s'ancre dans nos terrains pour aller vers la modélisation. Elle présente les étapes qui nous ont amenées à construire des modèles multi-agents. Le chapitre trois analyse ainsi les transports collectifs de Lima et Brazzaville, par des approches cartographiques et statistiques à partir de données d'enquête. Nous soulignons les propriétés particulières de ces systèmes. L'extrême adaptabilité de ces transports collectifs les rend d'autant plus difficiles

à appréhender dans une approche statique. Cependant, les structures qui en émergent sont stables et les stratégies qui sont à l'origine de leurs propriétés sont connues. Le lien entre ces deux niveaux d'analyse continue de poser question. Le quatrième chapitre développe une proposition de modélisation du transport artisanal à partir des cas de Lima et Brazzaville. Il s'agit d'une tentative d'approche individu-centrée qui explicite les processus à l'origine des propriétés de ces systèmes à l'aide de systèmes multi-agents.

Notre troisième partie s'intéresse aux abstractions possibles à partir de ces modèles. Dans une démarche expérimentale, nous tentons d'atteindre "l'essence" des processus du transport artisanal à travers une troisième partie. Celle-ci sera l'occasion d'utiliser nos modèles dans des environnements théoriques. Nous souhaitons par là mettre en évidence les aspects structurants des mécanismes du transport artisanal. D'un point de vue théorique, nous questionnons l'adaptabilité des systèmes auto-organisés à leurs contextes urbains. Plus concrètement, cela revient à se poser la question de savoir si les transports artisanaux identifiés et modélisés sont exportables. [Boeck and Jacquemin, 2012]

Première partie

Mobilité et transports en commun : espaces et enjeux contemporains

Cette partie a pour objectif de présenter le transport non institutionnel et ses enjeux en relation avec les mobilités urbaines. L'étude de ces phénomènes alternatifs s'impose pour la promotion des systèmes de transports collectifs. Une meilleure connaissance de ces transports pourrait apporter des solutions pour une mobilité plus durable. Le foisonnement des formes stimule l'imagination et la diversité des situations observables est une source d'inspiration pour qui cherche à innover, dans le transport comme dans d'autres domaines [Holton, 1981] [Amar, 2004]. À l'instar des réflexions de Georges Amar aux quatre coins du globe, notre démarche s'intéresse à la diversité des systèmes de transport alternatifs. Cependant, l'étude de ces phénomènes pose question et nous amènera à clarifier notre positionnement épistémologique, notamment au regard de notre discipline et de ses différents courants.

Dans un second chapitre, les cas de Lima et Brazzaville, qui constituent nos terrains d'étude, seront mis en perspective avec les points précédents. En effet, ces deux cas d'étude correspondent à des exemples types de transports artisanaux. Après avoir présenté les trajectoires qui ont amené à l'apparition de ces transports, nous éclaircirons leurs modes d'organisation et leurs particularités. Celles-ci seront finalement confrontées à d'autres systèmes documentés dans le monde.

Chapitre 1

Des mobilités aux questions de transports : les enjeux des transports collectifs artisanaux

Les questions de mobilité constituent à la fois l'origine et la finalité des transports collectifs. Dans le cadre de la mondialisation et de l'accélération des modes de vie, la mobilité évolue et pose de nouvelles questions aux systèmes de transport. Nous proposons ici de présenter les différentes problématiques induites par la mobilité dans les sociétés contemporaines. En effet, la mobilité prend part à des processus à la fois économiques, sociaux, environnementaux et spatiaux. Ces enjeux sont-ils différents pour les villes des Nords et des Suds ? Nous verrons quels processus généraux se distinguent des contextes dans lesquels ils sont observés. Par ailleurs, la mobilité crée des besoins en termes d'aménagement et d'infrastructures. En lien avec ces infrastructures, certains modes de transports sont privilégiés pour des usages et des objectifs différents. Voyons donc comment se gère la mobilité et quels transports en découlent. À travers ces aménagements qu'elle influence et qui l'influencent, la mobilité crée des espaces différenciés. La relation mobilité / espace implique une prise en compte particulière de ce phénomène. Nous verrons quelles sont les dimensions spatiales et temporelles de la mobilité et comment les prendre en compte.

1.1 Mobilités

1.1.1 Des mobilités à la mobilité quotidienne

La mobilité se définit comme "une forme de mouvement [...] qui s'exprime par le changement de position (géographique ou sociale)" [Brunet et al., 1993]. Roger Brunet définit la mobilité sociale, professionnelle et la mobilité du travail.

La mobilité qui nous intéresse est la mobilité géographique, qui correspond à "un changement de lieu" [Brunet et al., 1993]. La mobilité géographique s'inscrit dans diverses temporalités et répond à de multiples besoins. Temporaire ou durable, elle permet d'accéder au travail, au ravitaillement et au ressourcement. En ce sens, elle est toujours liée aux différentes facettes de la mobilité sociale.

Roger Brunet souligne également le caractère bénéfique de la mobilité, qui permet le renouvellement et s'oppose au conservatisme [Brunet et al., 1993]. Les points de vue sur la mobilité sont multiples et largement influencés par les injonctions économiques et les courants de pensée. Ainsi être plus mobile, plus flexible et plus réactif revient à être plus productif. La mobilité devient ainsi une valeur du "nouvel esprit du capitalisme" et participe d'une certaine fugacité des modes de vie [Boltanski and Chiapello, 1999]. Finalement, quelle que soit la grille de lecture adoptée, nous avons une image "positive, à la fois descriptive et prédictive, de la mobilité comme forme de liberté" [Bacqué and Fol, 2007].

En tant que phénomène social et spatial, la mobilité structure et est structurée à la fois par la société et l'espace dans un jeu de rétroactions complexes. Ainsi mobilité résidentielle et mobilité quotidienne s'influencent l'une l'autre, tout comme la mobilité sociale. Dans des espaces de vie structurés par la position sociale, l'ancrage local et la mobilité sont paradoxalement valorisés [Berroir et al., 2017]. Les choix de lieux de résidence et de travail n'ignorent pas les possibilités de déplacement au quotidien. La capacité à se rendre sur un lieu de travail, ou de déménager pour cela, joue un rôle dans l'intégration dans une nouvelle classe sociale. Inversement, les lieux de résidence connotés freinent l'entrée dans de nouvelles sphères professionnelles ou sociales [Bonvalet and Brun, 2002].

Les différents aspects de la question des mobilités recouvrent à la fois une dimension tangible, mesurable, composée de mouvements effectifs et une dimension plus abstraite, potentielle, qui forme la possibilité du déplacement. Chacune de ces acceptions donne lieu à des tentatives d'analyses et de mesures. Nous nous intéressons particulièrement à la mobilité quotidienne. Ce choix implique que nous nous plaçons dans une temporalité plus courte que si nous nous intéressions aux mobilités résidentielles. La mobilité quotidienne est liée

à l'évolution de la ville sur le temps long. Cependant nous sommes dans une démarche compréhensive du fonctionnement quotidien et nous ne prenons pas en compte les mécanismes génératifs de la mobilité. Nous cherchons à comprendre leurs modes de fonctionnement, non pas leur apparition, sans ignorer bien entendu le contexte dans lequel les mobilités quotidiennes se déroulent.

1.1.2 Les enjeux de la mobilité

Injonction économique et impératif écologique

La mobilité est présentée comme la condition d'une attractivité et d'une compétitivité suffisante dans le cadre de la mondialisation. Les territoires sont ainsi en concurrence sur la scène économique. Attirer les activités et la population s'avère nécessaire. Pour participer aux échanges internationaux, il faut une bonne accessibilité, et ce à plusieurs échelles. Ce travail s'intéresse à la mobilité quotidienne intra-urbaine. Cette échelle est tout aussi importante dans la mondialisation. Un territoire compétitif est, entre autres, un territoire de connexions et connecté, où le déplacement est rapide et efficace. Le bon fonctionnement de la mobilité repose sur un système de transport et des infrastructures performantes. En effet, de bonnes infrastructures facilitent la mobilité. Une augmentation de la mobilité entraîne une augmentation de la concurrence et d'échanges. Ceux-ci saturent les axes de circulation et la congestion fait diminuer l'attractivité et la compétitivité. Les infrastructures doivent donc s'adapter en permanence à l'augmentation de la mobilité [Carpentier, 2007]. La mobilité peut donc être considérée comme une ressource dans un raisonnement économique. Elle représente un moyen d'attirer de la main-d'œuvre et des clients pour les entreprises, mais aussi des activités pour les aménageurs. Cependant, comme toute ressource, la mobilité a une dimension environnementale importante.

La mobilité est génératrice d'externalités négatives directes : pollution atmosphérique et sonore, embouteillages, insécurité ... L'automobile est le principal mode de transport utilisé en France et plus largement en Europe. Au-delà des émissions de polluants qui impliquent un risque sanitaire, elle fonctionne la plupart du temps à partir d'énergies non renouvelables. L'utilisation de carburants propres ne résout qu'une partie des problèmes de l'automobile. De sa construction à la fin de son utilisation, elle génère nombre de déchets assez peu recyclables. La dégradation des cadres de vie liée aux aménagements routiers et les embouteillages ne sont pas réglés par des énergies renouvelables [Giraud, 2010]. Ces dernières doivent également être examinées précisément. Une voiture électrique qui se rechargerait d'énergie

nucléaire ne mériterait pas le qualificatif de "renouvelable" ou de "durable". D'un autre côté, les biocarburants ont des conséquences sur la répartition du foncier agricole dans les pays producteurs, une pression supplémentaire s'exerce sur les cultures alimentaires. Ainsi, promouvoir une utilisation raisonnée de l'automobile semble nécessaire pour des raisons environnementales. Les impératifs économiques de la mobilité nous empêchent de promouvoir simplement une diminution des déplacements. Cependant, favoriser le report modal vers des transports plus propres s'impose. Les transports collectifs apparaissent, en complément de modes doux non motorisés, comme une solution intéressante sur ce point. Les déplacements groupés sont moins polluants.

Finalement, la mobilité pose la question des limites environnementales, économiques et physiques de notre organisation sociale. L'augmentation de la mobilité participe du réchauffement climatique. L'accès à la mobilité conditionne l'intégration dans la société : que faire pour les plus pauvres ? En termes d'aménagement, la ville est submergée par l'afflux des automobiles et l'espace manque pour les modes doux et les transports collectifs [Orfeuill, 2014].

Une dimension sociale au-delà de la mobilité ?

En croisant ces analyses sociales et des réflexions plus spatiales sur les déplacements, les problématiques du droit à la mobilité peuvent être appréhendées. La mobilité traduit une injonction sociale forte, elle correspond aujourd'hui à un besoin. Trouver une place dans la société actuelle implique pour un individu de pouvoir se déplacer. L'emploi est souvent conditionné par le fait de disposer d'un permis de conduire et d'un véhicule. Mais certaines enclaves restent difficiles d'accès et leurs habitants partiellement exclus de la mobilité. Finalement, le "surplace géographique" condamne au "surplace social" [Breton, 2005]. Le droit à la mobilité fait partie des programmes publics depuis 1982 en France avec la Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs. L'objectif est de permettre l'accès à la mobilité pour tous. Cela se traduit concrètement avec des mesures telles que le Permis à un Euro par jour ou les bus de nuit. La mobilité est également intégrée dans les projets d'aménagement de l'Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine. Cependant, après une quinzaine d'années d'actions institutionnelles, le problème n'est pas résolu : la proportion des ménages non motorisés du premier décile augmente, les transports collectifs sont moins utilisés par les plus pauvres pour se rendre au travail et les dépenses de mobilité engloutissent jusqu'à 20% des revenus de nombreux précaires [Orfeuill, 2011]. En effet, l'amélioration de l'accès à la mobilité pour le plus grand nombre n'est pas à elle seule une solution aux inégalités sociales.

Elle entraîne une augmentation de la concurrence pour l'accès à l'emploi et au foncier. Dans cette situation, les plus démunis restent les plus vulnérables. Mis au ban des zones les plus demandées, ils sont victimes d'une exclusion sociale qui diminue leur réseau. De la même manière la ségrégation fonctionnelle éloigne les précaires de certains services. Ces deux processus pourraient être compensés par une augmentation de la mobilité, mais c'est un cercle vicieux : les plus en difficulté restent les premiers exclus de la mobilité. Les inégalités ne seront donc pas comblées uniquement en augmentant la mobilité générale [Orfeuill, 2004].

La capacité à se déplacer peut être traduite par un "capital" mobilité. Autrement dit, chaque individu dispose d'un ensemble de caractéristiques qui lui permet de se déplacer (conditions sociales d'accès, compétences et projets de mobilité). Cette grille de lecture portée par Vincent Kaufmann [Kaufmann, 2002] propose une lecture sociologique de la question. Elle a l'avantage de s'interroger sur les conséquences d'une dé-spatialisation de l'accès à certains services. La dématérialisation de l'accès aux services bancaires et postaux par exemple, entraîne la mobilisation de nouvelles compétences. De la même manière, la collecte d'informations concernant les transports en commun, horaires et itinéraires, mais aussi l'achat des billets nécessite aujourd'hui de maîtriser un tant soit peu les nouvelles technologies [Aguilera and Rallet, 2017]. Celles-ci ont d'abord été vues comme des alternatives à la mobilité permettant d'accéder à certaines ressources sans se déplacer physiquement. Cependant, la mobilité virtuelle demande d'autres compétences qui ne sont pas plus faciles à acquérir que les compétences nécessaires à la mobilité physique. Considérer ainsi la mobilité comme un capital à part entière, ou comme la résultante des autres dimensions du capital individuel (économique, social, culturel), ne doit pas revenir à oublier ses dimensions spatiales. Plus largement, il s'agit d'englober dans la mobilité : le déplacement, ce qui le précède et ce qui le prolonge. La "motilité" englobe ainsi la mobilité et toutes les capacités liées. Ce concept a l'avantage de fournir une grille de lecture pour comprendre les dimensions sociales et économiques de l'accès à la mobilité. Il s'abstrait cependant des questions spatiales.

Ces mécanismes dépassent les clivages Nord / Sud. Si le contexte urbain et social particulier des villes du Sud a une influence sur la mobilité quotidienne qui s'y développe, les rouages du système restent les mêmes : processus de choix, localisation des activités, accessibilité.

Particularités de la mobilité dans villes du Sud ?

Les villes en développement se caractérisent de manières différentes selon leur histoire et le contexte politique local. Il est périlleux de proposer une grille de lecture globale en évitant la généralisation abusive.

De prime abord, "les sens de la mobilité" varient entre le Nord et le Sud [Brun et al., 2003]. S'il y a 100 voitures pour 1000 habitants en moyenne dans le monde, cette situation est beaucoup plus représentée aux États-Unis ou en Europe qu'en Asie ou en Afrique. Cet état de fait est compensé par l'utilisation d'autres modes [Bonerandi, 2004]. Malgré ces disparités, les processus en jeu se rapprochent et des grilles d'analyse communes émergent.

Dans une réflexion sur la mobilité et les transports collectifs, l'opposition des villes du Nord et du Sud doit être nuancée. Les processus en jeu dans les dynamiques urbaines semblent dépasser les clivages Nord / Sud, notamment dans un contexte de tassement de l'exode rural vers les villes en développement [Dureau and Lévy, 2007]. L'exode rural de la seconde moitié du XX^{ème} siècle a provoqué une croissance urbaine accélérée. Malgré des disparités régionales, la tendance est une forte augmentation de la population résidant en ville [Moriconi-Ebrard, 1993]. La ville apparaît à l'époque comme un lieu de développement économique et humain. Les personnes en situation de pauvreté comme les institutions internationales placent leurs espoirs dans l'espace urbain, à la fois catalyseur du développement et pourvoyeur de croissance économique. Cependant, l'absence d'investissements nécessaires à l'adaptation de certaines villes à cette croissance rapide a entraîné l'apparition de quartiers auto construits sans accès aux services de base [Davis, 2005]. Dans ce contexte, les infrastructures et services sont progressivement mis en place par la société civile. Le transport artisanal participe de ce processus de développement d'activités dans les vides des services urbains [Criqui, 2014]. En ce début de XXI^{ème} siècle, la précarisation au Nord et la fluidification des mobilités sociales au Sud créent des processus sociaux comparables. Ainsi, les comportements résidentiels créés par ces sociétés dites développées où le travail se flexibilise ont tendance à se rapprocher de ceux des pays du Sud [Haumont, 2000]. Ceux-ci influencent à la fois l'urbanisation et les processus liés aux transports et à la mobilité [Chaléard et al., 2016]. D'un autre côté, la volonté d'accéder à la propriété et l'accès à l'automobile de certaines catégories de population, moteurs de l'étalement urbain, sont présents dans de nombreuses villes émergentes, particulièrement en Amérique Latine [Velut and Albrecht, 2005]. Dans la thématique qui nous intéresse, à savoir les transports et la mobilité, les phénomènes urbains tendent à converger du fait de l'amélioration des niveaux de vie au Sud et de la précarisation croissante dans les métropoles occidentales [Dureau and Lévy, 2007]. Ce mouvement appelle une uniformisation des méthodes qui a été initiée par le colloque *Métropoles en Mouvements* dans les années 2000 [Dureau, 2000]. L'approche thématique de l'urbain développée dans cet ouvrage, encourage à construire une approche globale fondée sur la comparaison internationale. L'utilisation de la comparaison est ici fondamentale pour l'identification de processus généraux en conservant une nécessaire contextualisation et sans prétendre à l'exhaustivité. L'ouvrage identifie des tendances au

polycentrisme, à la ségrégation résidentielle et à la spécialisation fonctionnelle ainsi que les nombreuses contraintes qui apparaissent, que ce soit pour les habitants ou l'action publique. Ces approches s'intéressent à la structure urbaine et au peuplement urbain. Elles se focalisent sur les mobilités résidentielles et leurs implications dans les dynamiques métropolitaines. La mobilité quotidienne et les transports collectifs ne sont pourtant pas étrangers à ces processus.

Nous constatons des similitudes entre la mobilité de Nord et celle du Sud. En effet, la flexibilisation du marché du travail, l'accélération des déplacements et des échanges, la réactivité des modes de vie sont des processus qui dépassent les clivages Nord / Sud. L'injonction à la mobilité est mondiale. Celle-ci influence la localisation résidentielle comme les choix de consommation, conditionne l'accès à l'emploi et différencie riches et pauvres. Cependant, au Nord comme au Sud apparaît la prescription paradoxale à réduire la mobilité. Les questions environnementales et les nouvelles orientations du développement économique vont vers le développement local et la préférence pour des acteurs ancrés localement. Les externalités négatives pourraient être réduites par une réduction des déplacements, mais qu'en est-il des inégalités et de la ségrégation dues en partie à des déficits d'accessibilité ?

Depuis les années 1990, la mobilité est considérée comme un élément de la vulnérabilité économique. Les bailleurs de fonds prennent en compte la mobilité dans l'évaluation de la pauvreté. Ainsi lorsque l'accès aux biens et aux services de base n'est pas garanti, la mobilité devient une des cibles des programmes de développement [Booth et al., 2000]. Aujourd'hui, la mobilité n'est plus considérée comme un vecteur vers des ressources localisées, mais bien comme une ressource urbaine à part entière. Cette prise en compte de la mobilité de manière essentielle se retrouve chez les tenants d'un développement libéral comme chez les défenseurs du droit à la ville [Bertrand, 2010].

La gestion des transports suscite des débats concernant les impacts économiques et écologiques de la motorisation. Les avantages comparatifs des offres de transports privés ou publics posent question quand il s'agit de proposer des solutions de transport qui soient socialement justes, économiquement viables et respectueuses de l'environnement.

Ces problématiques dépassent les clivages Nord / Sud. Les risques d'exclusions liés à la mobilité et à la pauvreté sont les mêmes quel que soit le contexte. Les politiques de transports sont partout conditionnées par l'inclusion des citoyens les plus vulnérables [Mignot et al., 2001] mais également par des impératifs économiques et écologiques. Les aménageurs de Bogota [Gil-Beuf, 2007] comme de Montréal [Douay and Roy-Baillargeon, 2015] s'interrogent sur les moyens d'améliorer les circulations : bus à haut niveau de service / *bus rapid transit*, autobus ou voies rapides ...

1.1.3 Gérer la mobilité ?

Quels transports ?

Parmi les moyens de déplacement utilisés aujourd'hui, l'automobile reste la plus emblématique. Effet du capitalisme et de ses corollaires, la consommation de masse et l'individualisme, la voiture conserve une image positive et symbolise la liberté. "Dans la voiture tout est rêve et symbolique : de confort, de puissance, de prestige, de vitesse" [Lefebvre, 1970]. Sa diffusion dans tout au long du XX^{ème} siècle a transformé les modes de fonctionnement urbains en participant à la périurbanisation, l'abandon des centres-villes, la pollution atmosphérique et sonore... [Orfeuill, 1994]. Au terme de ces processus, la "dépendance automobile" des sociétés occidentales pose problème [Dupuy, 1999]. Des solutions d'aménagement urbain plus ou moins planifié, reposant sur une spécialisation fonctionnelle des espaces plus ou moins forte, ont vu le jour [Orfeuill, 1994].

La promotion d'autres modes de transport fait partie des propositions mises en œuvre : les transports en commun ou les modes doux [Orfeuill, 2015]. Le vélo et la marche sont de retour sous plusieurs formes. L'aménagement des centres urbains se tourne de plus en plus vers la piétonnisation. Celle-ci semble devenir une sorte de solution miracle pour la redynamisation des centres urbains ou la gentrification [Brenac et al., 2013]. De même, les vélos en libre-service ont fait leur apparition dans presque toutes les grandes villes françaises depuis une dizaine d'années. Dans une vague d'aménagements labellisés "développement durable", les transports en commun font office d'entre-deux entre les modes individuels doux et motorisés. Plus ou moins planifiés, organisés et performants, ces modes de déplacements jouissent d'une réputation d'inefficacité malgré leur caractère plus respectueux de l'environnement [Banister, 2008].

Ces différents modes de transport ne sont pas utilisés de manière exclusive et la mobilité se construit en tenant compte des possibilités existantes. Ainsi, l'intermodalité et la multimodalité sont monnaie courante dans les comportements de mobilité [Bursaux, 2014] [Aguilera and Rallet, 2017]. D'un côté les citoyens utilisent plusieurs modes de déplacement successivement au cours de leur déplacement. Par exemple, pour se rendre au travail un individu peut utiliser successivement sa voiture qu'il va déposer au parking relais d'une gare, le train et un autobus de la gare à son lieu de travail. Cette pratique intermodale prend en considération la complémentarité entre les différents modes. D'un autre côté, à chaque mode correspond un type de déplacement, avec un motif et une origine / destination particulière. La voiture peut être utilisée pour aller faire des courses, le transport en commun pour aller travailler et la bicyclette

pour aller chercher les enfants à l'école. L'individu a ici un comportement multimodal qui dissocie les modes de transport en fonction des déplacements.

L'utilisation intelligente des différents modes de transport fait partie des conditions d'une mobilité efficace. Du point de vue de l'aménageur comme du scientifique, il s'agit de bien comprendre comment mettre en lien ces différents modes de transport pour favoriser leur intelligibilité et leurs interactions.

Aménager pour la mobilité quotidienne ?

"Comment penser et organiser les transports dans les villes où les gens bougent de plus en plus dans tous les sens, vingt-quatre heures sur vingt-quatre, de façon différente d'un jour à l'autre, pour des motifs variables et en utilisant toutes sortes de moyens de déplacement ?", telle est la question posée par François Ascher [Ascher, 2004]. Il pose ainsi la problématique de l'aménagement des transports du XXI^{ème} siècle.

La question du développement des transports collectifs semble s'imposer en raison d'impératifs environnementaux et sociaux. Cependant, de nombreux défis restent à relever. L'enjeu est de faire correspondre l'offre de transport et la demande. Comment desservir les zones peu denses ? Y a-t-il une opposition irréductible entre rentabilité et utilité sociale ?

Dans cette nouvelle donne pour les transports urbains, F. Ascher souligne le rôle central joué par l'information [Ascher, 2004]. À l'aide d'une analogie informatique féconde, il fait de l'information le « soft » d'un système dont le « hard » est constitué des moyens de transport physiques. À moins que la téléportation soit inventée demain, l'augmentation de la vitesse des moyens techniques ne changera pas de manière profonde l'efficacité des systèmes de transports. En effet, l'enjeu actuel est de faire correspondre ces progrès techniques avec les besoins de déplacement. Pour ce faire, la marge de progression se trouve dans les systèmes d'information. La communication entre le transporteur et le transporté et la diffusion des informations dans un sens ou dans l'autre pourrait améliorer l'efficacité des systèmes.

Les nouvelles technologies apportent une réponse partielle au problème de la circulation de l'information pour la mobilité. Différents sites internet et applications, qui se réclament de l'économie collaborative, proposent la mise en relation de chauffeurs effectuant un trajet avec des usagers. Chacune des deux parties prenant en charge des frais pour le fonctionnement de l'entreprise intermédiaire. L'apparition des premières innovations liées au covoiturage a pu sembler être une solution. Elles permettent en effet de pallier les manques de moyens financiers ou l'absence de transports en commun. Durables, elles évitent une pollution supplémentaire

en remplissant mieux les véhicules. Sociales, elles créent même du lien entre conducteurs et passagers.

Des aires de covoiturage ont donc fleuri ... à la place de nouvelles lignes de bus. Conducteurs et passagers payent, parfois plus de 20% du prix de la transaction, les services de l'entreprise qui leur a fourni une plateforme pour les mettre en relation. Si on considère la mobilité comme un droit qui doit être accessible et relever du service public, nous sommes bien loin d'un modèle durable sur le plan économique et social. D'autant plus que ces solutions permettent à l'État de se désengager, et de faire le choix de libéraliser les transports sans trop de remous. Le modèle *Uber*, dernier né de la série, va encore plus loin. Il propose aux chauffeurs de travailler dans la précarité en payant à l'application le droit d'être contacté, le tout sans la moindre assurance ni sécurité sociale [Bianquis, 2017]. La stratégie de néolibéralisme agressif utilisée par cette entreprise a pour objectif de faire disparaître toute concurrence, quitte à perdre de l'argent dans un premier temps, pour ensuite dominer le marché et emprisonner usagers et conducteurs. L'existence de ces technologies est intéressante en termes de gestion de la mobilité. Les modèles économiques liés sont quant à eux à l'antithèse de la durabilité [Lambrecht, 2017].

Finalement, la gestion des mobilités peut donc s'effectuer de façon active par les pouvoirs publics ou une autorité centralisatrice. Les processus sont canalisés et orientés dans une direction ou une autre. Cependant, certaines situations relèvent plus de processus émergents, la gestion n'est pas réellement planifiée, mais plutôt adaptée à l'apparition de nouvelles pratiques ou nouveaux modes de transports. Quoi qu'il en soit, la gestion positive ou adaptative de la mobilité est liée à l'appréhension de ses dimensions spatiales.

1.1.4 Dimensions spatiales de la mobilité

Les espaces de la mobilité

La mobilité quotidienne se définit par l'ensemble des déplacements effectués lors d'une journée et répétés de manière régulière. Elle se caractérise à l'échelle individuelle par un certain nombre de déplacements. Ils ont une origine, une destination, un motif et une temporalité. Dans ce cas, la mobilité se mesure en nombre de déplacements, de kilomètres parcourus, ou encore de modes de transports mobilisés. À l'échelle d'une population, la mobilité peut être mesurée en nombre de déplacements, au total ou par individus, en nombre de kilomètres parcourus en moyenne ... Populations et individus sont donc plus ou moins mobiles. Pour

une zone géographique, la mobilité à l'intérieur de la zone ou la mesure des échanges avec d'autres zones peuvent être des entrées.

L'analyse des interactions entre structure urbaine et mobilité repose sur deux hypothèses opposées : la ville crée la mobilité et la mobilité structure la ville. Cependant, aucune de ces deux hypothèses n'exclut l'autre, il s'agit plutôt d'une relation dialectique qui prend en compte un certain nombre de variables (localisation des activités et de la population, infrastructures, taux de motorisation ...) [Wiel, 1999]. Dans un sens comme dans l'autre, les infrastructures et la vitesse de circulation sont un levier important [Fusco, 2004]. En effet, de bonnes infrastructures favorisent l'augmentation des mobilités et la mobilité oblige la création d'infrastructures. Ainsi, les mobilités sont façonnées par la morphologie et l'histoire urbaine, mais également par l'action des pouvoirs publics locaux. La ville est également construite pour gérer les flux, faciliter la circulation et fluidifier les échanges.

La mobilité est appréhendée et modélisée depuis les années 1950 à partir d'un certain nombre de paradigmes. Documentée en France par les Enquêtes Ménage-Déplacements, la mobilité est étudiée à l'origine dans une visée aménagiste. Les partis pris de l'ingénierie de trafic et de la socioéconomie des transports ont participé à façonner notre mobilité quotidienne actuelle, concrètement et en termes de représentation et de conceptualisation. La mobilité quotidienne est donc envisagée au prisme des méthodes de quantification, de modélisation, à travers les modèles à 4 étapes, et d'évaluation à partir des coûts généralisés. Les conventions utilisées à la fois dans la sphère scientifique et dans la conception de nos systèmes de transport se concentrent sur les ménages, et non sur l'individu ou sur les déplacements. Elles considèrent la mobilité comme un entre-deux et non comme une activité à part entière. Le lieu et le motif sont inextricablement associés ... [Commenges, 2013]. Ces constructions aboutissent à des réflexions qui s'orientent dans une direction plutôt que dans une autre. Comme le montre Gabriel Dupuy, les modèles de trafic urbain sont finalement "Une technique de planification au service de l'automobile" [Dupuy, 1975].

Cependant, la mobilité crée des espaces différenciés, cœurs de mobilité ou enclaves, lieux d'exclusion ou de passage. Elle fait de l'espace un réseau [Castells, 2000]. L'espace n'est plus découpé en zones délimitées, mais en interfaces et en articulations. Cette plasticité de l'espace des mobilités est bien traduite par la théorie du rhizome de Gilles Deleuze [Deleuze, 1976]. Par analogie avec le rhizome des plantes, le rhizome de Deleuze est un modèle descriptif d'une organisation dont les éléments n'ont pas de relations hiérarchiques avec un centre, mais où chacun des éléments peut influencer les autres. Un tel modèle implique la plasticité des configurations et des rôles de chaque élément. À la manière du rhizome végétal, ils ne sont pas déterminés à telle ou telle fonction. De la même façon, les entités spatiales de l'espace des

mobilités sont en perpétuelle réorganisation, si ce n'est spatiale, en tous cas relationnelle. Ainsi la mobilité crée des espaces. La ville se forme et se structure par des interactions complexes avec les mouvements qui l'habitent et l'animent. Ainsi, la ville piétonne, dense et ramassée, du siècle dernier a progressivement cédé la place à la ville automobile, étendue multipolaire. La localisation des activités résulte des choix de différents acteurs et conditionne les déplacements, en retour la mobilité influence aussi ces choix de localisation [Claval, 1970].

L'espace n'est pas simplement le support de la mobilité. La mobilité interagit de façon complexe avec l'espace. Dans un jeu d'actions et de rétroactions, l'espace et la mobilité se structurent et s'entraînent de manière dynamique. Cette relation structure / dynamique constitue la dimension spatiale de la mobilité. À travers elle, les processus peuvent être maîtrisés pour guider un développement urbain le plus approprié possible. Ainsi, on retrouve dans cette dialectique espace / mobilité, les autres enjeux de ce phénomène : les dimensions sociales, économiques et environnementales se rejoignent. Au niveau environnemental, il s'agit de maîtriser l'étalement urbain pour limiter les distances parcourues ; au niveau économique, la maîtrise des flux limiterait la congestion et permettrait la compétitivité ; au niveau social, la mixité spatiale permettrait une mobilité plus équitable [Carpentier, 2007].

La question de la maîtrise et de l'orientation de ces processus spatiaux illustre le caractère global de la réflexion. La ville est un système complexe et aucune de ses dimensions ne peut être analysée de façon indépendante [Moine, 2006] [Pumain, 2001]. Le lien entre mobilité et espace tisse entre eux les autres enjeux. Les interactions entre forme urbaine et mobilité relient les enjeux économiques, sociaux et environnementaux du système [Antoni, 2010]. L'adéquation entre réseaux, spécialisations fonctionnelles des espaces et comportements de mobilité permettrait d'améliorer la compétitivité tout en diminuant les inégalités et en favorisant le report modal.

Une grille de lecture entre l'espace et le temps

La mobilité quotidienne en zone urbaine est appréhendée depuis près d'un demi-siècle par la conjecture de Zahavi qui considère la stabilité du budget temps de transport [Zahavi and Talvitie, 1980]. Ainsi, quel que soit le contexte spatial et technique, les individus passeraient un temps équivalent à se déplacer. L'accélération des moyens de transport n'aurait pas pour effet de faire gagner du temps, mais d'allonger les déplacements, favorisant l'étalement urbain. Cependant, en favorisant l'étalement urbain et l'éclatement de la ville, les budgets temps de transport des villes européennes et nord-américaines augmentent aujourd'hui. La ville se dilate sous l'effet de l'accélération des transports [Crozet and Joly, 2006].

La mobilité articule donc deux facettes : les configurations spatiales et les temporalités de mobilité individuelles. La Time Geography permet une prise en compte équivalente de l'espace et du temps dans l'analyse géographique [Hägerstrand, 1981]. Cette démarche permet d'adopter un point de vue individuel et prend en considération les trajectoires spatio-temporelles de chaque mobile [Chardonnel, 2001]. La Time Géographie représente la mobilité des personnes en trois dimensions : les activités sont localisées dans l'espace, par les coordonnées de leur localisation, et dans le temps, par leur durée. La mobilité quotidienne est ainsi considérée dans sa complexité multidimensionnelle. D'un point de vue global, à l'échelle d'une agglomération par exemple, les questions de mobilité se posent comme l'agrégation des trajectoires spatio-temporelles de chaque individu mobile.

Les déplacements sont liés à la forme de la ville et à la localisation des activités, mais également à la capacité des individus de se déplacer. La mobilité recouvre donc un double aspect, celui des configurations spatiales et des formes de mobilité individuelle [Audard, 2006]. L'approche de la Time Geography rejoint un des enjeux de l'étude de la mobilité. Il s'agit de prendre en compte la dimension spatio-temporelle de la mobilité à l'échelle individuelle. Ce positionnement répond aux évolutions des pratiques vers l'individualisation. La prise en compte des migrations, dans une logique agrégée, fait place à l'étude de la mobilité individuelle. Une telle construction aboutit à considérer les dimensions stratégiques des comportements des acteurs et à représenter l'espace de manière réticulaire et multiple [Massot and Orfeuill, 2007].

La mobilité est donc un point crucial pour sociétés contemporaines. Elle pose un certain nombre de questions de gestion et d'organisation pour appréhender au mieux les enjeux environnementaux, économiques, sociaux et spatiaux liés aux déplacements. Dans ce contexte, différents modes de transports répondent aux besoins des citoyens. Dans les pays du Nord la plupart des systèmes de transport sont issus d'une planification technique et centralisée. Cependant, il existe des contextes où l'offre de transport public ne permet pas de répondre à ces besoins. Des modes de transport alternatifs comblent les besoins de mobilité de plusieurs milliers de citoyens lorsqu'ils n'ont pas de choix modal à leur disposition. Dans des situations où le taux de motorisation est faible et les services de transports centralisés absents, ces transports non institutionnels ne reposent sur aucune institution publique ou privée. Les différents enjeux liés à la mobilité, à sa gestion et à sa dimension spatiale ne sont pas appréhendés de façon centralisée.

1.2 Le transport non institutionnel : s'arrêter sur une définition, mais souligner les diversités

My name is Matatu and I am called by different names in different countries of the world. [...] While people in Lagos call me "Kabu-Kabu", the honorable resident of Accra call me Tros Tros ; in the Republic of Gambia, Tanka Tanka, and in Sierra Leone they call me Poda Poda. In Benin, I am called Kia Kia. In the Democratic Republic of Congo I am known as Fula Fula ; Mozambique, Chapa ; Ugandans refer to me as Kamunye ; South Africans just refer me as taxis, while Tanzanians say I am Dala Dala/ When I show up in India, I am called Polaambo or Jeepneys ; in Indonesia, Pete Pete ; in Israel, Monit Sherut ; in Yemen, Dabaab ; in Japan, Noriaikush ; in Macedonia Kombe ; in Mexico, Peseo or Combi ; in Nepal, Micro ; and in Russia, Mashrutka.

Meleckidzedek Khayesi, Frederic Muyia *Informal Public Transport in Practice : Matatu Entrepreneurship*, 2015.

1.2.1 Définition des termes

Quand il s'agit de transport non institutionnel, la diversité rend le secteur difficile à circonscrire. Comme tous les phénomènes qui relèvent de cette "autre" sphère de la ville, la recherche du terme adéquat est embarrassante et source, au mieux, de débats, au pire, de *quiproquo* dans la sphère académique. L'emploi de "spontané", "anarchique" ou même "archaïque" a heureusement été abandonné pour "non institutionnel", "non planifié", "alternatif", "informel", "artisanal", "auto -produit, -construit, -géré, ou -organisé". De la conduite d'entretiens à la valorisation puis vulgarisation des résultats de la recherche, l'enjeu est d'employer des termes à la portée de tous les interlocuteurs. Cependant, nommer correctement ces transports est un enjeu important pour leur définition et conditionne une étude précise. Ainsi les *combis* de Lima sont *informales* pour leurs usagers comme pour les aménageurs locaux alors que nous verrons plus loin qu'ils ne répondent absolument pas à la définition de l'informalité. D'autre part, l'espagnol utilisé pour le transport collectif est usuellement *transporte publico*. Il est donc possible de qualifier les bus liméniens de *transportes publicos informales* sans créer le moindre remous chez les non-spécialistes. Au contraire, en Algérie les transports informels sont les transports illégaux qui côtoient des transports artisanaux (fiscalement en règle) et des transports institutionnels publics ou privés. L'artisanat, l'informel et l'institutionnel sont bien

distincts dans le langage courant ; malgré le fait que les transports informels proposent exactement le même service que les transports artisanaux. Une (dé)construction / (re)construction terminologique est donc nécessaire à la réflexion, en cherchant l'équilibre entre la précision conceptuelle, académique, nécessaire, et l'impératif d'éviter tout propos jargonnant. Pour désigner les transports non institutionnels, la terminologie française va de l'informalité à l'artisanat, mais l'anglais *paratransit* peut nous apporter un autre angle d'approche.

Informel

Le terme d'informel dépasse largement le secteur du transport. Il recouvre, de nombreuses activités qui "ne respectent pas les formes, ou mieux encore les formalités" [Brunet et al., 1993] et qui se développent en dehors de toute loi, réglementation, autorité étatique [Lautier, 2004]. L'informalité est en dehors de la législation sans forcément être dans l'illégalité. Cette notion se rapproche bien plus de l'a-légalité. Le terme a été forgé par un anthropologue britannique au début des années 1970 [Hart, 1973]. Il utilise le qualificatif "informel" pour désigner un quartier d'Accra. Il donne ainsi une origine urbaine au terme. Cette notion assez floue reste principalement économique et le caractère urbain des phénomènes qu'elle recouvre est indéniable : la seconde apparition du terme s'intéresse à l'emploi urbain au Kenya à travers une enquête du Bureau International du Travail en 1972 [Azaïs and Steck, 2011]. En France, les travaux du géographe Alain Dubresson ont permis l'approfondissement du sujet, notamment sur l'analyse des "stratégies de débrouille en milieu urbain" [Bennafla, 2012] et les rapports entre l'industrie coloniale et les métiers de l'informel [Dubresson, 1989]. À sa suite, les travaux de Jean Fabien Steck démontrent une nouvelle fois l'ancrage de l'informel dans l'espace urbain [Steck, 2006] et particulièrement la rue [Steck, 2008].

D'un point de vue étymologique, "Informel" est un dérivé de "formel". Emprunté à l'anglais *informal*, il signifie "dégagé de tout formalisme, de toute structuration ou institution" ou encore "qui n'a aucun caractère officiel" [TLFi, 2002]. Cela sous-entend une absence de forme, un certain archaïsme en dehors de toute réglementation. Cette étymologie porte une connotation négative et empêche de considérer qu'il s'agit moins d'une absence de forme que d'une absence d'information. Autrement dit, il est particulièrement difficile de collecter suffisamment d'informations à propos de ces processus pour pouvoir les comprendre ou se les représenter. Considérer un phénomène comme primitif cache en fait un problème de connaissance. En réalité, "informel" est utilisé de façon normative et nie les modes d'organisation profonds. Par exemple, l'application de ce terme dans les années 1970 à des situations de travail en Afrique constitue une relecture d'un phénomène ancien : le travail familial et la

pluriactivité, mais également les rôles sociaux traditionnels sont considérés comme informels [Fall et al., 2015]. Ce caractère normatif est également souligné dans les cas latino-américains par [Portes, 1972] qui souligne le lien entre les notions d'informel et de sous-développement. De la même manière, l'anthropologue Pierre Clastres [Clastres, 2011] pointe l'ethnocentrisme qui se manifeste dans la considération de l'État comme une sorte d'aboutissement de l'évolution de toute société et le risque d'ignorer la richesse des sociétés gouvernées différemment, notamment celles des Indiens d'Amérique. L'informalité relève du même champ de construits occidentaux : le formel serait la seule voie d'activité valable. L'informalité évoque un positionnement évolutionniste. Un phénomène qualifié d'informel serait une sorte de phénomène primitif dont l'unique voie d'évolution serait la formalisation et la centralisation.

Lors de la diffusion de l'utilisation de cette notion, des chercheurs issus des pays du Sud ont tenté de souligner les incohérences de ce positionnement. Ainsi, l'économie urbaine est en partie renouvelée dans les années 1970 par l'étude de ce "deuxième circuit" porteur d'un dynamisme peu pris en compte jusqu'alors par les recherches menées depuis pays du Nord [Santos, 1975]. Les travaux du brésilien Milton Santos considèrent le secteur informel comme complémentaire du secteur formel. Il constitue un moyen de dépasser l'inadaptation des cadres normatifs. Toutes ces activités font donc partie intégrante de la croissance économique, même s'il est difficile de les mesurer. Elles ne sont pas dissimulées et construisent un partage de l'espace entre ces deux secteurs interdépendants. Au-delà de la dimension économique, les avantages sociaux de ces activités sont soulignés par un autre chercheur latino-américain, l'économiste Hernando de Soto. Pour lui, le secteur répond aux besoins de base des populations quand il n'existe pas d'autres solutions. La fonction sociale importe du point de vue des usagers, quelle que soit l'activité mise en place [Soto and Ghibellini, 1994]. Il prend l'exemple des logements et des approvisionnements en eau et en électricité dans les quartiers informels, du commerce et des transports collectifs. À travers ces thèmes, l'économiste péruvien entend démontrer que les activités non régulées pourraient constituer une solution à la crise que traverse le Pérou des années 1980.

Aujourd'hui, la question de la production informelle de la ville est au centre de plusieurs réflexions comme en témoignent les sorties en 2016 d'"Urbanités informelles" numéro 15 de la revue *Tous Urbains* ou "Informalité, pouvoir et envers des espaces urbains" numéro 29 de la revue *L'espace politique*. Différents processus informels sont à l'œuvre dans l'espace urbain. Ils jouent un rôle à la fois dans la gouvernance et dans la production de la ville. L'informel reste donc un champ urbain, il participe à la production de la ville selon des frontières floues et des implications mouvantes. Cependant, les questions actuelles ne s'intéressent plus uniquement

à l'informel en tant que tel et au secteur économique qu'il représente. Il s'agit bien plus de considérer les pratiques, leurs implications économiques, sociales et leurs ancrages spatiaux. Le champ considéré n'est plus uniquement économique : il glisse vers la politique et les sciences sociales. En géographie, les notions d'espace informel et d'espace de l'informel se distinguent et se recoupent [Bennafla, 2012]. En effet, les activités informelles se déroulent dans un espace particulier, plus ou moins défini. Elles produisent ainsi des espaces aux frontières floues. Ainsi, la production informelle de la ville touche plusieurs temporalités dans la construction de l'espace urbain qui vont de l'habitat aux activités économiques. Les transports que nous étudions prennent place dans un contexte de production informelle de la ville qui se traduit à différentes échelles temporelles et spatiales. A travers eux, nous interrogeons directement la dimension quotidienne de la ville informelle.

De manière générale, l'informel est un outil de conceptualisation des processus ascendants de production urbaine. Il permet de proposer un autre paradigme que celui de la planification aménagiste. Ces processus sont tantôt considérés comme un effet ou un moteur du progrès, comme une manifestation d'un développement différencié ou comme une réaction à un État trop, ou trop peu, présent [Rebotier, 2016]. Le contexte de la prise en compte de plus en plus importante de l'informel dans la fabrique urbaine, notamment avec les conférences Habitat, va de pair avec un nouveau regard sur ce secteur. En effet, en lien avec les réflexions autour de la ville durable, les quartiers informels apparaissent comme une source d'innovation sociale et urbaine pour la durabilité [Clerc, 2015].

Paratransit

Le terme de *paratransit* est le terme anglais pour désigner les transports non institutionnels. Ce terme est plus précis que *informal transports*. Utilisé depuis les années 1970, il renvoie principalement à des systèmes qui se développent entre le transport institutionnel et le transport individuel. Cette notion désigne à la fois des transports collectifs à la demande, des locations de véhicule à court terme ou des formes de covoiturage. En somme, le secteur est constitué de toutes les solutions de transport, collectives ou semi-collectives, qui ont des organisations différentes du classique "itinéraires et horaires fixes" [Kirby, 1974]. À l'origine, cette notion très large recouvre des solutions de mobilité alternatives qui apparaissent aux États-Unis. Leurs potentiels apports pour le développement de systèmes de transport urbain plus efficaces sont immédiatement mis en exergue [Bovy and Krayenbuhl, 1979]. Ainsi, plusieurs publications des années 1980 défendent l'intérêt de développer des systèmes où *paratransit* et transports institutionnels se complètent [Rosenbloom, 1982] [Cervero, 1997]. Ces solutions ont été

vivement combattues par les acteurs publics ou privés du transport institutionnel [Hodges, 2006].

Les recherches sur le *paratransit* portent donc d'abord sur les villes du Nord. Mais certaines études s'intéressent aux villes du Sud. Les avantages du *paratransit* face aux transports institutionnels sont documentés en Asie du Sud Est dès les années 1980 [Rimmer, 1984]. Aujourd'hui la question de la régulation et de l'intégration du secteur dans des systèmes institutionnels est posée tant en Afrique [Behrens et al., 2015] qu'en Amérique Latine [Neumann, 2014]. Finalement, la question de l'intégration se pose en sens inverse par rapport aux villes du Nord : il n'est pas question de voir comment le *paratransit* apparaît dans les interstices du transport institutionnel. Mais de réfléchir aux effets de l'apparition d'un transport institutionnel là où il n'y avait que du *paratransit*.

L'intérêt de cette notion de *paratransit* vient donc du positionnement adopté. La littérature anglo-saxonne sur le sujet construit une approche différente des travaux francophones, du fait que le *paratransit* est un phénomène d'abord observé dans des villes américaines. Ces formes de transports n'ont pas l'image négative liée aux études sur l'informel dans les études francophones sur le développement. Elles sont plus considérées ici comme des initiatives individuelles valorisées dans un système économique libéral. D'autre part, la complémentarité entre *paratransit* et transport institutionnel s'envisage dès les années 1980 et nous verrons que cette question est toujours importante dans les projets de développement des transports collectifs.

Cependant, le *paratransit* désigne une large gamme de transports. Le covoiturage par exemple est une forme de *paratransit*. L'offre n'est pas forcément considérée comme une activité professionnelle, à la différence des "artisans" du transport.

Transport artisanal

Xavier Godard propose, dans les années 1980, d'appliquer la notion d'artisanat aux transports collectifs non institutionnels. Cette construction conceptuelle commence avec l'exemple des *foula foula* de Brazzaville [Godard, 1985]. Il constate que les transports en commun de la capitale congolaise sont opérés par des petits entrepreneurs qui possèdent un véhicule et le conduisent, ou le louent à un chauffeur. Ces minibus n'ont aucun compte à rendre à la mairie concernant leurs trajets. La définition du transport artisanal se construit à partir de ce cas et en croisant d'autres expériences de terrain. Elle se compose aujourd'hui de deux principaux éléments : l'atomisation de la propriété et le haut degré d'autonomie des équipages quant à l'opération du service [Godard, 2008].

Il s'agit d'une définition qui permet de mettre l'accent sur la structure économique et organisationnelle du secteur. Elle a l'avantage de se suffire à elle-même et de ne pas construire la notion en opposition à une autre : "non institutionnel" et "non centralisé" peuvent être abandonnés. Le transport artisanal est ainsi considéré comme un mode d'organisation à part entière. La neutralité du terme est un premier pas vers la réhabilitation de ces systèmes de transports et l'acceptation de leur potentiel d'innovation. Le sous-titre de cet ouvrage collectif [Godard, 2002] : "de la débrouille au désordre inventif" témoigne de cette évolution.

Ce terme s'impose depuis plus de 20 ans dans la recherche francophone [Godard, 2008] [Plat et al., 2016] [Olvera et al., 2007] [Boubakour, 2008] [Salazar Ferro and Abd Alla, 2016] [Lombard, 2011]. L'artisanat n'étant pas exclusif, il peut exister du transport artisanal et informel. Les relations entre ces deux notions restent floues, mais certains exemples nous aident à y voir plus clair. En Algérie par exemple, l'artisanat désigne des transports légaux et s'oppose aux transports dits "informels" qui sont illégaux et ne payent pas leurs taxes [Boubakour, 2008].

Cependant, la question de la relation entre les notions de transport artisanal et de transport informel ne peut pas être levée aussi simplement. En effet, l'informel n'est pas forcément illégal, et le transport artisanal comporte en réalité une part d'informel. Cette part se trouve dans les pratiques des équipages de véhicules : ils construisent leur service de manière autonome et agissent en dehors de toute réglementation. Ces pratiques construisent un système de transports reconnus par les usagers et marquent l'espace urbain. Par exemple, les arrêts de bus sont plus souvent des coins de rue ou des arbres remarquables que des panneaux [Godard, 1994]. Le transport artisanal participe d'une production informelle de l'espace urbain à travers ses pratiques propres.

D'autre part, le transport artisanal participe d'une économie politique urbaine qui flirte avec les limites floues du secteur informel. Le fonctionnement des gares routières et les jeux de pouvoir qui s'y développent montrent que les enjeux de ces transports dépassent la dimension économique du secteur artisanal [Lombard, 2004]. Les négociations permanentes entre les différents acteurs du transport construisent une sorte de gouvernement urbain informel. Par exemple à Dakar, des sortes de coordinateurs apparaissent dans les gares routières et les principaux arrêts de bus. Ils canalisent le flux des usagers vers les différents véhicules. Dans les arrêts de bus importants, des "chargeurs" aident à l'embarquement. Les relations entre ces individus et les équipages de véhicules sont un enjeu important : le bus peut se remplir et repartir plus vite. Le transport artisanal génère également des négociations entre les équipages de véhicules et les agents de police dans la rue ou les usagers [Lombard, 2004]. Les enjeux

autour des espaces du transport artisanal sont hautement politiques. Du fait notamment de la faible régulation du secteur, de nombreux acteurs tentent de s'approprier cette ressource et accentuent le caractère informel de cette activité [Lombard, 2006].

Ainsi, le transport artisanal se distingue du transport informel et gagne en précision. Cependant, le transport artisanal fait partie de l'informel urbain et de nombreuses problématiques sont communes aux deux phénomènes.

Les limites de la notion d'artisanat

Les deux éléments retenus par Xavier Godard [Godard, 2008] sont l'atomisation de la propriété et l'autonomie des équipages. Le premier comporte certaines limites du fait de l'émergence sur certains terrains de propriétaires qui accumulent progressivement des véhicules qu'ils louent [Lombard, 2011]. Ainsi, il existe une certaine concentration du capital à la suite d'investissements importants dans des véhicules mis en location. L'atomisation de la propriété doit donc être légèrement nuancée, même s'il s'agit seulement de moins d'une dizaine de bus. D'autre part, dans une perspective d'analyse géographique des phénomènes, la spatialisation des transports collectifs est au cœur de notre problématique. Celle-ci est liée à la construction concrète de la desserte. Les propriétaires n'ont pas d'influence directe sur la circulation des véhicules. En effet, ils laissent aux équipages la liberté de construire la desserte comme bon leur semble. Ce n'est donc pas du caractère artisanal ou non du secteur d'activité qui nous intéresse ici. La dimension économique est bien entendu importante dans l'analyse, mais elle n'est pas suffisante pour qualifier les processus spatiaux en jeu.

Le point commun entre les phénomènes désignés par les notions de *paratransit*, de transport artisanal ou même de transport informel réside dans la dimension adaptative du service. Autrement dit, ces transports ne répondent pas à des itinéraires et à des horaires fixes. Ils sont flexibles et s'adaptent en fonction des besoins. Cette caractéristique essentielle dépasse les structures économiques et organisationnelles du secteur. Ces dernières constituent différentes modalités d'un même type de transport. La thèse d'Adrien Lammoglia a déjà pris le parti de remplacer "artisanal" par "adaptatif" pour utiliser un terme qui permet de comparer des transports à la demande français et le transport artisanal dakarais [Lammoglia, 2013]. Nous retiendrons, dans la définition du transport artisanal, la grande liberté des équipages de véhicule quant à l'opération du service. Il s'agit d'un critère à échelle micro qui permet de caractériser les transports que nous étudions. Nous nous focalisons sur l'analyse de cette offre de transport en commun dans une perspective d'identification des structures spatiales. L'étude

des caractéristiques de la demande constitue un champ de recherche à part entière.

L'autonomie des équipages constitue l'essence des processus de transports "artisansaux" ou "adaptatifs". L'utilisation des termes de transports collectifs "autonomes", "autoproduits" ou "autogérés" est tentante. Le préfixe "auto" renvoie à un phénomène qui agit sur lui-même : pour la définition des règles (-nomes, du grec *nomos* qui désigne la règle), pour la création de biens, de services et d'activités au sens large (-produits, du verbe produire issu du latin *producere* qui signifie "mener en avant") ou pour l'organisation et l'orientation de la structure (-gérés, du latin *gerere* qui renvoie entre autres au fait de conduire et de représenter). Finalement, les transports artisansaux relèvent à la fois de ces trois notions avec certaines nuances.

Ils sont autonomes du fait de l'absence de réglementations respectées qui viendraient de l'extérieur du système.¹ De la même manière, ils sont autoproduits puisqu'ils ne dépendent pas d'une structure entrepreneuriale centralisatrice.² En ce qui concerne l'autogestion, les transports artisansaux s'organisent par eux-mêmes, mais l'orientation, les objectifs ou les buts, de la structure ne provient pas du système dans son ensemble. En réalité, un système de transport artisanal n'a pas d'objectif en soi : chacun des éléments du système poursuit un but, mais il n'y a pas d'orientation collective. Ainsi le transport artisanal ne correspond pas totalement à la définition d'une organisation "autogérée".³ Nous proposons d'utiliser la notion d'auto-organisation. Celle-ci a l'avantage d'être aux croisements des notions précédentes et d'éviter les contresens que nous venons d'évoquer. Un système auto-organisé se caractérise par une structure émergente suite à l'action de ses éléments sans centralisation [Kauffman, 1995]. Les enjeux de l'utilisation des théories de l'auto-organisation dans notre démarche de modélisation seront développés dans les chapitres suivants. Pour l'instant, nous préférons mettre en avant la pertinence de l'auto-organisation pour définir de manière positive la caractéristique principale des transports artisansaux : l'autonomie des équipages permet au système de s'auto-organiser.

1. Les définitions philosophiques de l'autonomie sont nombreuses. De Descartes à Ivan Illich en passant par Spinoza, Auguste Comte, Kant, Georges Sorel ou Hakim Bey ... les débats sur la possibilité et la définition de l'autonomie sont passionnants, nous n'avons néanmoins pas la place de les développer ici. Nous nous en tiendrons donc à la définition étymologique du terme.

2. Cette définition de l'autoproduction est plus philosophique qu'économique. La production de soi-même est une des caractéristiques du réel, et de la vérité, pour un certain nombre de philosophes [Renaut et al., 2006]. Pour certains économistes, le terme a plusieurs acceptions, dont celle de produire pour sa propre consommation [Cerezuelle and Roustang, 2010]. Celle-ci ne correspond pas à ce que nous souhaitons désigner ici.

3. L'autogestion se définit par une "organisation égalitaire de la société par les hommes eux-mêmes" [Guillerm and Bourdet, 1975]. Ici, "toutes les décisions sont prises par la collectivité qui est, chaque fois, concernée par l'objet de ces décisions, c'est à faire un système où ceux qui accomplissent une activité décident collectivement ce qu'ils ont à faire et comment le faire" [Castoriadis, 1979].

Dans une démarche de construction théorique, la focale micro s'est ainsi imposée. Un tel resserrement de l'échelle de départ permet de rechercher l'essence des phénomènes pour ensuite tenter confrontations et généralisations.

Nous aurions également pu étudier la complémentarité avec des offres de transport institutionnelles. Des perspectives plus globales, que ce soit à l'échelle de systèmes de transport, de mobilité urbaine ou de structure des agglomérations, s'invitent ensuite au fil des analyses. Mais l'intégration de ces éléments ne peut se faire qu'à partir de la définition d'une base solide. Il s'agit pour nous de comprendre la manière dont les structures spatiales émergent au quotidien. Pour ce faire, le point de vue de l'offre dans son rapport à son environnement de manière générale est fondamental. Les analyses et les modèles construits en partant de ce postulat pourront par la suite être adaptés. Nous pourrions par exemple considérer des interactions avec d'autres systèmes de transport ; ou intégrer les stratégies d'utilisateurs pour une analyse de la demande ...

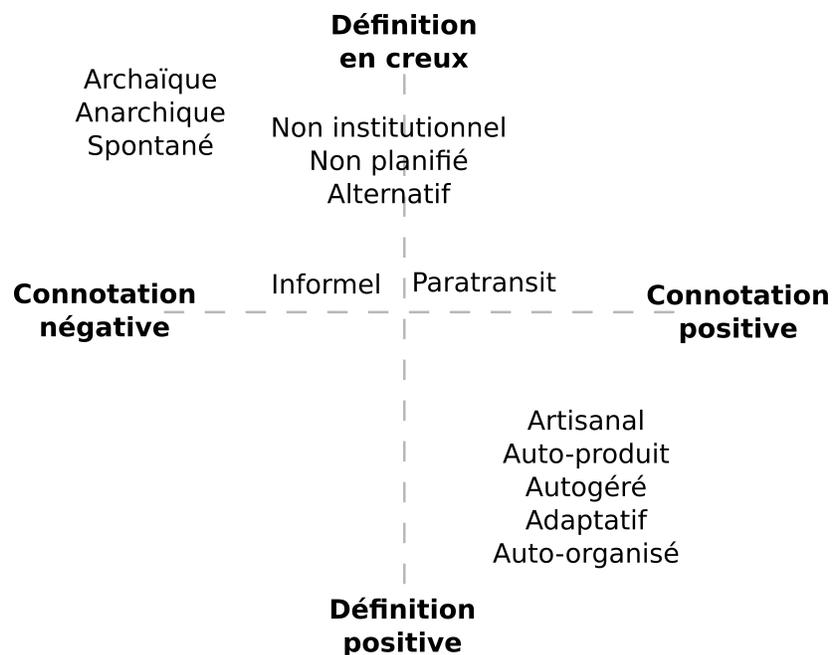


FIGURE 1.1 – Schéma lexical du transport non institutionnel

La figure 1.1 représente le lexique du transport non institutionnel selon toutes les notions que nous avons évoquées jusqu'à présent. Chaque notion a ses particularités sémantiques, nous avons tenté de les synthétiser en deux axes. D'abord, elles se répartissent selon le caractère plus ou moins péjoratif de l'emploi du terme : d'une connotation négative à une connotation positive. Ensuite nous proposons un gradient de la précision de la définition, autrement dit

il s'agit de savoir si ces notions sont définies par des caractéristiques propres, essentielles et précises ou par opposition. Cet axe relie donc les définitions en creux et les définitions positives, seules ces dernières se suffisent à elles même pour désigner un phénomène.

1.2.2 Le transport artisanal dans le monde : diversité et lignes directrices

Des bus, des minibus, des voitures, des mototaxis ...

Les différents véhicules utilisés dans le transport artisanal interpellent par leur diversité. Les types de véhicules utilisés vont du bus de grande taille à la mototaxi en passant par tous les modèles de minibus et de camionnette. Cependant, l'observateur averti constate que seules quelques marques sont présentes au-delà des multiples transformations, réparations et personnalisations des véhicules. La faible variété des marques et modèles à échelle mondiale est révélatrice d'enjeux globaux. Le succès du modèle *hiace* de *Toyota* demeure incontestable puisqu'il est présent *a minima* de Lima à Jakarta en passant par Managua, Port-au-Prince et Brazzaville. L'étude de filières des véhicules révèle des schémas économiques aux enjeux internationaux [Tastevin, 2012]. Ainsi, des motos-taxis congolais aux autorickshaw indiens il n'y a qu'un grand pas, effectué par les relations commerciales qui passent par la Chine et inondent le marché de petits véhicules à moteur. Les relations géopolitiques et l'aide au développement apparaissent dans la présence d'anciens bus de la RATP à Abidjan ou de *school buses* états-unis *blue-birds* dans toute l'Amérique du Sud. L'influence actuelle des grands pays asiatiques sur le continent africain se distingue également grâce à la prolifération des autobus chinois en Ethiopie [Consultants, 2005] et des Tata en Afrique et à Madagascar [Goldstein and Lemoine, 2014].

Apparition et structuration des transports artisanaux

Les systèmes qui incluent du transport artisanal sont issus pour la plupart de la dégradation de services totalement institutionnalisés [Godard, 1994]. En effet, des systèmes de transport institutionnels sont en place dans de nombreuses villes depuis le début du XX^{ème} siècle. Un siècle plus tard, ils ont subi de nombreux changements marqués par un passage généralisé du service public à la domination du secteur privé. Quelles que soient la temporalité et l'échelle de gestion des transports institutionnels, les politiques de libéralisation économique, promues notamment par la banque mondiale au début des années 1990 [Gwilliam, 2002], entraînent

CHAPITRE 1. DES MOBILITÉS AUX QUESTIONS DE TRANSPORTS



Blue Bird - Lima, 2012



Blue Bird - Managua, 2015



Hiace - Brazzaville, 2014



Hiace - Lima, 2012

FIGURE 1.2 – Photographies d'autobus - Léa Wester

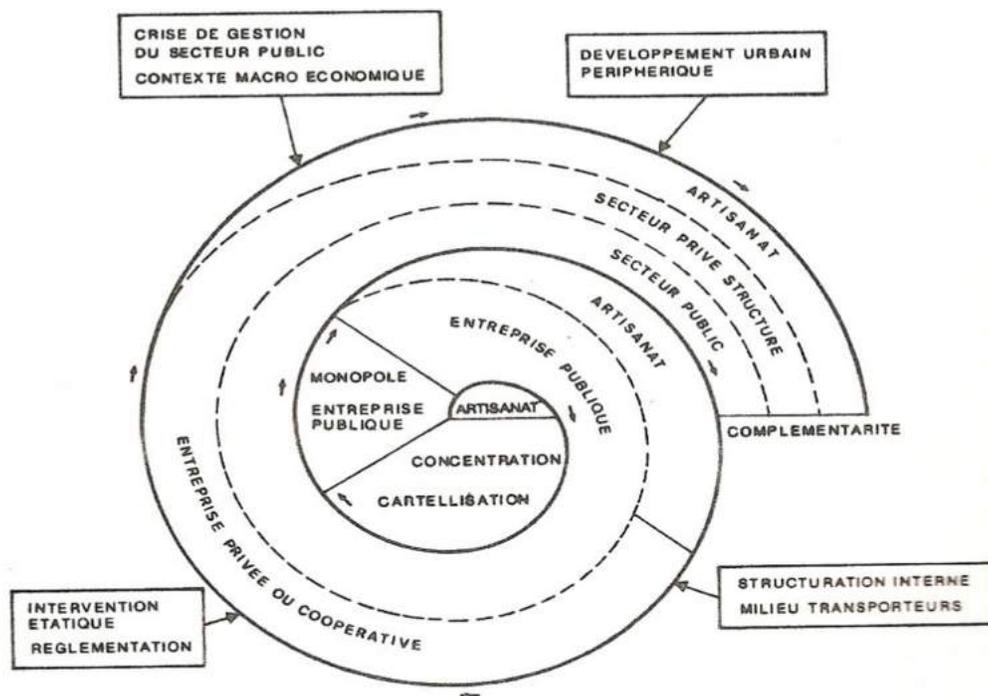


FIGURE 1.3 – Schéma en spirale de l'histoire des systèmes de transport collectif [Godard, 1990]

une libéralisation des transports collectifs et un désengagement de l'État dans de nombreuses régions. Les transports publics se dégradent et ne sont plus en mesure d'assurer correctement le service. Des solutions alternatives apparaissent et concurrencent le système institutionnel de plus en plus vulnérable. Cette situation aboutit à l'arrêt de l'exploitation de transports collectifs publics. Les transports artisanaux deviennent ainsi le service en place. Ce processus a été formalisé par [Godard, 1990] au moyen de ce schéma en spirale (Figure 1.3). Il propose une vision dans le temps de l'évolution des systèmes de transport. Cette grille de lecture se fonde sur l'alternance entre des systèmes institutionnels et des systèmes artisanaux avec des périodes de cohabitation transitoires.

Les processus sont variés, mais la dynamique globale reste la même quel que soit l'exemple choisi. Dans le cas du Brésil, la première étape a consisté en une relocalisation des responsabilités au niveau des communes, sans transfert de ressources financières au début des années 1980 [Arago et al., 1994]. Ces entreprises publiques entrent dans une phase de crise dans les années 1990. La concurrence des transports artisanaux et la crise économique mettent en difficulté les municipalités qui ne reçoivent plus de subventions nationales pour leurs

transports urbains [Pacheco and Henri, 1994]. Ce processus entraîne une fermeture progressive des entreprises publiques et laisse le secteur aux acteurs privés. La libéralisation progressive a également eu raison du système de transport public de Santiago du Chili dans les années 1990 [Figuerola, 2005]. Celui-ci disparaît au profit de transporteurs artisanaux. Aujourd’hui que ce soit à Santiago ou dans certaines villes brésiliennes, de nouveaux services de transports publics sont mis en place. Ils tentent de faire disparaître l’artisanat et de l’intégrer dans un secteur privé structuré. La complémentarité qui constitue l’aboutissement de la spirale de X. Godard n’est pas encore atteinte. De nombreux conflits d’usages opposent les différentes dimensions du transport collectif aujourd’hui [Salazar Ferro, 2014]. D’autres pays, comme l’Algérie [Matouk and Abeille, 1994], ont instauré des transports publics dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle, mais la tendance à la fin du siècle est à la fermeture progressive face au désengagement de l’État et la concurrence de transporteurs artisanaux, légaux et illégaux, de plus en plus nombreux. Il en va de même ailleurs sur le continent africain où les transporteurs privés dominent le secteur comme à Abidjan et Dakar [Lombard, 2006]. Cependant, la présence de transport artisanal en Afrique tout au long du XX^{ème} siècle pose la question de la réelle efficacité des services publics qui ont été mis en place. L’inadaptation des systèmes institutionnels à un secteur originellement fragmenté a entraîné leur disparition tout autant que le désengagement de l’État [Behrens et al., 2012].

Des organisations multiples et mouvantes

Aujourd’hui, la structure organisationnelle de ce secteur varie, et avec elle le degré de contrôle et de planification. La revue bibliographique de Pablo Salazar Ferro [Salazar Ferro, 2014] permet de souligner la variété des transports artisanaux (Figure 1.4).

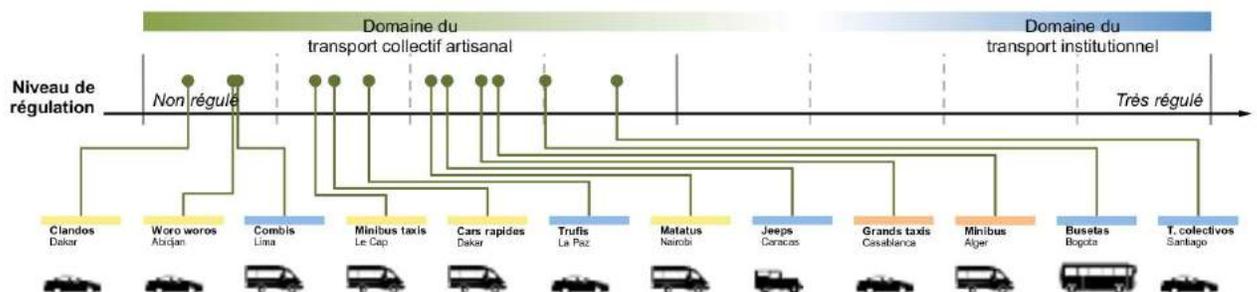


FIGURE 1.4 – Niveau de régulation des services du transport collectif artisanal [Salazar Ferro, 2014]

Sur le plan économique ou organisationnel comme dans le rapport aux institutions, les situations sont très variées, parfois dans une seule ville. Ainsi à Agadir, quelqu'un peut être à la fois chauffeur d'un taxi collectif, propriétaire du véhicule et titulaire de l'autorisation de circulation auprès des autorités. Mais il peut aussi s'agir de trois personnes différentes. Les relations entre ces acteurs du service sont également diverses avec des locations de véhicule d'un côté et des emplois salariés d'un autre. Les mototaxis du Bénin n'obéissent à aucune réglementation particulière alors que celles du Burundi ont des chauffeurs casqués et assurés qui payent une taxe de circulation à l'État et une taxe de stationnement à la mairie [Dougueli, 2016]. En ce qui concerne les organisations professionnelles, les artisans du transport collectif de Jakarta sont regroupés en syndicats [Desmoulière, 2016], contrairement à ceux de Brazzaville qui évoluent de manière isolée.

Pablo Salazar Ferro a construit une gradation de la régulation dans les transports artisanaux (Figure 1.4). Celle-ci illustre la variété des situations observées et la difficulté de construire une grille de lecture commune. Il dégage trois critères pour définir ce niveau de régulation : qualité et sécurité du service, nombre de véhicules par ligne ou réseau et tarification. Ces critères ont l'avantage d'être documentés sur tous les cas étudiés. Il est en effet bien difficile d'obtenir des informations sur l'existence de lignes ou d'arrêts et sur leur réel impact sur l'opération du service ; ou sur les règles liées à l'emploi dans le secteur ... Cette étude a le mérite de proposer une réflexion thématique à partir de nombreux cas et de tenter une théorisation globale. Elle permet de souligner la difficulté d'accès à l'information pour penser les modes d'organisation et de régulation, au-delà de l'aspect économique. D'autre part, la diversité des situations de régulation est indéniable.

Les transports artisanaux apparaissent au terme de cette réflexion peut-être plus foisonnants qu'à la première évocation du terme. Ce phénomène est certainement caractérisé par sa pluralité. En effet, si le secteur se définit par l'éclatement de la propriété et l'autonomie des équipages de véhicules, il recouvre de nombreux modes d'organisation, de régulation, des trajectoires historiques et des dimensions techniques variées. Les phénomènes que nous étudions sont donc au croisement de plusieurs concepts : les transports non institutionnels sont composés, entre autres, des transports informels et des transports artisanaux. Ces deux dernières notions recouvrent parfois la même réalité. Cet enchevêtrement conduit à penser un équilibre entre nomothétie et monographie, afin de porter une réflexion large et suffisamment nuancée. Proposer un travail de recherche sur ce thème nous place ainsi en équilibre entre deux pôles : une tendance au structuralisme, en recherche de définitions précises et exhaustives ; et une aspiration post-moderne qui se contentera d'accepter le léger flottement qui règne encore

autour du transport artisanal. Voyons comment s'étudie ce phénomène et quels sont les enjeux de ces travaux avant de nous intéresser à notre positionnement.

1.3 Étudier le transport artisanal : quels défis, quelles solutions ?

Défis de l'informalité

Dans le cas des transports artisanaux, les processus étudiés ne relèvent pas des institutions. L'absence de centralisation rend la collecte de données ardue. Puisqu'il n'existe aucune règle collective, il devient nécessaire de conduire des enquêtes pour toutes les informations : la localisation et la forme des éléments du réseau, l'organisation du travail et les revenus, les relations entre les acteurs ... Il n'existe pas de réglementation ou de registre pour servir de point de départ à la recherche. La nécessité de produire des données à grande échelle et de mettre en œuvre des enquêtes conséquentes s'impose d'autant plus qu'il n'y a pas toujours de recensement. Cet argument du manque de fiabilité des données disponibles semble évident dans le cadre d'une recherche sur l'informel.

L'étude de secteurs dits "informels" n'est pourtant pas nouvelle. En économie, les travaux de l'OCDE et de la Banque Internationale de Développement s'attachent depuis les années 1970 à quantifier et qualifier ces activités et leur part dans la production de richesses [Charmes and Adair, 2014]. Il s'agit de production de données à échelle mondiale et la trop grande normalisation des méthodes a été soulignée à plusieurs reprises.

La tension entre universalisme et relativisme, comparatisme et particularisme, fait naître des enquêtes qui associent approches quantitatives et entretiens qualitatifs [Hugon, 2014]. La complémentarité des approches méthodologiques semble évidente pour plusieurs raisons. D'abord, il s'agit de dégager les processus généraux, tout en considérant les caractéristiques particulières à chaque terrain. Des enquêtes normées doivent donc être nuancées avec des données construites à partir du terrain, quelle que soit la méthode employée.

D'autre part à l'échelle de chaque cas d'étude, la compréhension des processus en jeu ne peut faire l'économie d'une double démarche. L'absence de centralisation, si elle permet la flexibilité du secteur, le rend aussi difficile à saisir : les pratiques restent contingentes malgré des logiques stables. Le chercheur qui s'intéresse à l'informel est donc obligé de prendre en compte l'échelle individuelle pour comprendre les processus en complément d'une démarche plus globale. Cette logique individuelle répond à des déterminants économiques

mais également sociaux. Les logiques de ces acteurs sont autant liées au marché qu'à des réseaux interpersonnels [Favreau, 2004]. Pour saisir toutes ces dimensions de la complexité des phénomènes, l'approche doit être nécessairement pluridisciplinaire et mobiliser plusieurs types de démarches méthodologiques.

1.3.1 Approches multiples : des monographies aux entrées disciplinaires

Géographie des transports

L'étude des transports non institutionnels sera naturellement classée dans la géographie des transports et constitue, à l'instar de son objet, un carrefour disciplinaire aux enjeux sociétaux importants [Bavoux et al., 2005]. Les transports sont étudiés tout autant par les sciences dures que par les sciences humaines. Ils représentent un enjeu important d'aménagement du territoire et sont au coeur des recherches concernant la ville de demain [Antoni, 2016]. Le recensement des thèses en transport effectué par l'Association Française des Instituts de Transport et de Logistique témoigne de la variété et du dynamisme de ce champ de recherche en France. Les 347 doctorats en cours en 2016 s'inscrivent dans des domaines aussi variés que la psychologie, les sciences économiques ou de gestion, les disciplines littéraires, les mathématiques appliquées ou le génie industriel [AFITL, 2016]. De la conception des infrastructures aux technologies mobilisées pour créer des modes nouveaux, tous les domaines de l'ingénierie sont mis à contribution. De la santé aux sciences de la matière, les transports sont étudiés pour leurs émissions et leurs impacts environnementaux. Pour les sciences humaines, ils relèvent à la fois d'une manifestation des relations dans une société et d'un élément structurant des organisations sociales et spatiales. En économie, on s'intéresse aux coûts et aux financements à plusieurs échelles. Les transports sont étudiés à toutes les échelles et les questionnements sont variés : de la question de l'aménagement et de la gouvernance à celle du droit au transport ou du droit des transports.

Approches disciplinaires et recherche de lois générales ?

Le transport artisanal est un phénomène relativement peu étudié, ou du moins pas par toutes les disciplines. En tant que phénomène non planifié, toutes les problématiques de conception *ex ante* ou d'ingénierie ne sont pas pertinentes pour l'instant. Le transport artisanal reste un phénomène social et les démarches sont pour l'instant majoritairement sociologiques, économiques, géographiques ou politiques. L'informalité du transport artisanal n'empêche cependant pas chercheurs et techniciens de mener des réflexions méthodologiques au-delà des

clivages disciplinaires. Les approches nomothétiques restent cependant rares. Les défis d'un tel objet de recherche rendent ardue toute tentative de dépasser l'unicité du lieu. Il n'existe pas d'enquête normalisée à échelle globale. La part des études de cas est largement supérieure à celle des réflexions à échelle plus large. Nous pouvons signaler l'existence de réflexions à échelle régionale menées par le LET, notamment en Afrique de l'Ouest [Diaz Olvera et al., 2010] ou par l'UMR PRODIG [Lombard and Ninot, 2012]. En gardant une réflexion principalement spatiale, ces travaux s'intéressent respectivement à la dimension économique et aux aspects sociopolitiques de ces systèmes. Dans une démarche plus géographique, les travaux de l'UMR ESPACE avec Didier Josselin et Adrien Lammoglia s'intéressent à la relation entre transport artisanal et transport à la demande [Lammoglia et al., 2012] [Lammoglia, 2013]. Dans le même laboratoire, ceux de Frédéric Audard s'intéressent aux structures spatiales émergentes dans ces systèmes de transport [Audard et al., 2012].

Une démarche de confrontation des cas a été initiée dans les années 1990 par Xavier Godard avec un ouvrage collectif qui traite de plusieurs systèmes de transport collectif, mais sans analyser le transport artisanal en tant que tel [Godard, 1994]. Un second ouvrage collectif considère plus précisément le transport artisanal en mêlant réflexions thématiques transversales et études de cas [Godard, 2002]. Le transport artisanal est considéré comme un élément des solutions de mobilité et sa capacité d'innovation est soulignée.

En ce qui concerne les comparaisons intercontinentales ou les analyses globales, la récente publication de la CODATU a le mérite de tenter une synthèse des connaissances disponibles sur le sujet et de s'essayer à plusieurs typologies [Salazar Ferro, 2014]. Il propose des catégorisations en fonction du modèle économique ou du mode de régulation à partir d'une bibliographie importante. Ainsi, les systèmes de transport sont soit classés en fonction de leur mode de régulation (voir figure 1.4), soit par rapport aux nombres d'acteurs du service : propriétaire, chauffeur et titulaire d'une autorisation de circuler peuvent être une seule et même personne ou trois individus différents.

Études de l'offre et de la demande

La majorité des travaux est donc constituée d'études de cas. Celles-ci adoptent divers positionnements. De manière générale, assez peu d'études portent sur la demande. Les profils socio-économiques des usagers et leurs déplacements permettent de replacer les transports artisanaux dans les systèmes de mobilité urbaine. Leur rôle primordial dans la desserte des populations les plus pauvres est ainsi mis en évidence [Paquette, 2010]. Les transports artisanaux sont confrontés aux autres modes disponibles et inclus dans une réflexion sur l'accessibi-

lité [Olvera et al., 2005] et sur la répartition modale des déplacements [Montezuma, 2003]. Cependant, la majorité des études se concentre sur l'offre. Certaines approches historiques s'intéressent à l'apparition des transports artisanaux et à leur évolution. Ces recherches sont liées à deux champs principaux en histoire contemporaine : l'étude du travail et celle des transports urbains. Ainsi certains travaux entrent par les entreprises et les modes de travail pour s'intéresser finalement au secteur des transports. L'histoire du transport est un thème de recherche qui englobe parfois les transports artisanaux [Almeida-Topor et al., 1992]. Sans se revendiquer de l'histoire contemporaine, certains travaux adoptent une démarche d'analyse chronologique. Ainsi dans l'évolution des systèmes de transport, le transport artisanal peut constituer un phénomène récurrent qui prend le dessus sur le transport institutionnel dans la continuité de politiques de libéralisation [Figuerola, 2005] ou disparaît au profit de la régulation [Henry, 2002]. Les perspectives temporelles amènent finalement à suivre les relations tumultueuses entre le transport institutionnel et ses concurrents informels de façon générale, que ce soit à l'échelle individuelle des situations de travail ou à l'échelle nationale ou continentale des réglementations qui évoluent en faveur de l'un ou l'autre des modèles. Dans le cadre de la mondialisation, les transports au Sud constituent un enjeu à différentes échelles. Les *autorickshaws* deviennent ainsi le marqueur de la mondialisation à travers la diffusion de cette innovation venue d'Inde entre les petites villes du delta du Nil et Kinshasa [Tastevin, 2012]. Qu'ils soient institutionnels ou non, les transports révèlent des situations de concurrence générées par la libéralisation croissante.

Entrée modale

Les transports artisanaux interpellent, notamment dans un référentiel occidental, du fait de leur apparente désorganisation. Ils peuvent être approchés par les véhicules utilisés puisque ceux-ci correspondent souvent à une unité du service. Ces modes de transport emblématiques d'un fonctionnement non institutionnel servent à délimiter l'objet d'étude. Les minibus d'Abidjan [Adoléhoumé and Bi Nagoné, 2002] ou de Kuala Lumpur [Partners, 1981] symbolisent des systèmes artisanaux. Leur organisation et leur efficacité sont donc analysées. Les mêmes démarches sont développées pour les taxis collectifs du Niger [Saidou and Motcho, 2012] ou du Maroc [Le Tellier, 2005]. Les transports artisanaux ne sont pas analysés dans leur globalité, les études se focalisent sur un élément important du système. Le cas des mototaxis est particulièrement représentatif. Cette forme de transport artisanal est de plus en plus courante, notamment en Afrique [Olvera et al., 2007]. Les mototaxis sont étudiées dans plusieurs villes du Bénin [Agossou, 2004] ou du Cameroun [Feudjio, 2015] pour ses enjeux à la fois sociaux

et économiques. *Jeune Afrique* publie régulièrement des articles sur ce sujet [Dougueli, 2016], abondamment traité dans la presse pour les mêmes raisons qu'il déchaîne les passions chez les chercheurs comme en témoigne le titre accrocheur de [Keutcheu, 2015] qui parle de "fléau". Il s'agit en effet d'une dimension emblématique des transports artisanaux dans leur incarnation la plus informelle. Ce phénomène cristallise des questions politiques, notamment autour des atouts de cette forme de transport artisanal et de la nécessité de son insertion dans un système institutionnel [Kamden, 2014]. La normalisation des transports artisanaux est mise en avant comme une condition au développement urbain et à l'intégration dans la mondialisation. En effet, les véhicules utilisés, souvent vétustes, ne donnent pas une image moderne de la ville [Ledgard and Solano, 2011].

Un enjeu d'aménagement urbain

Les transports artisanaux sont l'occasion de poser la question des relations entre privé et public dans le transport urbain. Il existe plusieurs solutions mises en place par des autorités locales dans le monde pour concilier les impératifs de l'aménagement urbain et les transports artisanaux.

Le rôle des transports artisanaux dans le processus d'urbanisation est double. Ils proposent un service en suivant les évolutions de l'agglomération, comme c'est le cas dans les villes Brésiliennes qui accueillent des compétitions sportives internationales [Beyer, 2012]. Ils favorisent la consolidation de certaines structures à Abidjan en desservant les quartiers isolés [Kassi-Djodjo, 2010]. La situation est similaire à Lomé où une structure de "ville-moto" se dessine sous l'influence des motos-taxis [Guézéré, 2013]. Les politiques sectorielles mises en place jusqu'à présent, en Amérique Latine par exemple, ne permettent pas de maîtriser l'urbanisation et une planification intégrée devient nécessaire [Figuroa, 1991]. En effet, les aménagements de transport ne peuvent pas modeler la ville à eux seuls, tout comme une politique qui se contente d'organiser la ville par ses activités n'est pas une solution efficace [Offner, 1993]. Le choix de la municipalité sud-africaine de Durban de privatiser totalement les transports collectifs interpelle [Bellengère et al., 2004]. Dans le contexte de ségrégation post-apartheid, les pouvoirs publics ont préféré laisser les transports collectifs à des acteurs privés pour se focaliser sur la mise en place d'une autorité régulatrice. Celle-ci doit négocier avec les centaines d'exploitants de transport en commun qui opèrent à Durban. Ce choix du partenariat public-privé pour gérer les principaux enjeux de l'organisation urbaine a pour objectif de stimuler le développement économique tout en maîtrisant l'évolution du secteur [Freund and Lootvoet, 2012]. Cependant, ce type de solution crée des coûts inattendus pour la

collectivité, notamment pour la subvention de lignes non rentables [Bellengère et al., 2004]. Autre exemple, les couloirs de bus et de taxis de Buenos Aires sont l'objet de consultations de tous les acteurs impliqués. Il s'agit encore une fois d'un mode de gouvernance original du transport collectif en synergie entre privé et public [Borthagaray, 2006].

Quel que soit le système considéré, les principaux questionnements gravitent autour de deux pôles : l'organisation du secteur, son mode de gouvernance et de régulation, mais également son fonctionnement économique et le financement de l'activité. Ces deux dimensions sont difficilement dissociables. L'absence de logique de service public laisse les considérations financières prendre une place importante dans les interactions entre les différents acteurs [Godard, 2002].

1.3.2 Dans l'opérationnel ...

Des systèmes de transport planifiés spécifiques pour les villes du Sud ?

Après avoir suivi les politiques de libéralisation de la Banque Mondiale et du FMI dans les années 1990, les projets d'aménagement se tournent aujourd'hui vers la mise en place de systèmes de transport adaptés à des contextes de manque d'infrastructures et de moyens économiques limités. La technologie du Bus Rapid Transit (BRT), équivalent du Bus à Haut Niveau de Service (BHNS), séduit depuis la mise en activité de celui de Curitiba au Brésil au début des années 1980 [Ardila Gómez, 2004]. Ces transports de masse fonctionnent sur la base de bus de grande taille circulant sur des voies réservées, à la manière d'un métro en surface. Cette alternative a pour avantage d'atteindre des performances proches d'un métro grâce à la circulation en site propre tout en limitant les dépenses d'infrastructures [Wright and Fjellstrom, 2003]. Plus de 200 villes dans le monde ont mis en place ce type de transport collectif [ALC-BRT, 2016]. Il s'agit pour certaines de la colonne vertébrale d'un système de transport intégré multimodal qui utilise des bus de rabattement. Ces aménagements favorisant le transport collectif et l'intermodalité améliorent la qualité de vie des citoyens [Montezuma, 2011]. Ils peuvent être considérés comme un premier pas vers la mise en place d'un système de transport collectif intégré. C'est le cas de Lagos où un BRT a été introduit en 2008 pour servir de base à une organisation multimodale [Mobereola, 2009].

BRT ou transport artisanal ?

Le BRT a l'image d'un système de transport qui émane de la ville du Sud, puisqu'il a été inventé au Brésil. Le risque est cependant de plaquer le modèle sans tenir compte du contexte.

Ce type d'écueil est un marronnier de l'aménagement du territoire qui se retrouve dans les projets de développement et de transports collectifs [Godard, 2001]. Pour les cas de BRT, le risque est double : à la fois dans la fracture sociotechnique que révèle la mise en place de ces nouveaux systèmes et dans l'intégration des transports préexistants. En effet, pour qu'un nouveau système de transport fonctionne, il doit transformer les habitudes des usagers. Ce processus a fonctionné à Bogotá [Gil-Beuf, 2007] mais le manque de lisibilité du nouveau système a été un problème difficile à résoudre à Santiago du Chili [Hernández and Witter, 2015]. Le transport artisanal repose sur la communication entre les usagers et les équipages de véhicules. Cet échange quotidien construit des codes communs qui se passent de média. Nul besoin de cartes ou de fiches horaires pour circuler, les crieurs accompagnent les usagers. La disparition de cette relation à la fois sociale et économique peut rendre la mobilité inaccessible à certaines catégories de population qui ne maîtrisent pas les nouvelles technologies qui permettent de s'informer dans le nouveau système ou qui ont simplement des difficultés avec la lecture. A contrario, le transport artisanal émane directement de la ville et correspond à des "configurations de fourniture" adaptées [Olivier de Sardan et al., 2010]. Autrement dit, les combinaisons d'acteurs qui permettent le service s'adaptent au contexte et aux besoins. Pour les services de mobilité que nous étudions, les phénomènes sont similaires à ceux de l'accès à d'autres ressources qui se distribuent en réseau : eau, alimentation, électricité ... Ils constituent un secteur dynamique de l'économie populaire urbaine [Jacquemot, 2013]. La question de l'action publique sur ces systèmes repose sur le renouveau que ces modèles peuvent apporter à la conception des organisations des transports urbains. En tant que processus ascendants, ils pourraient constituer des sources d'inspiration pour de nouvelles solutions de mobilité collective [Amar, 2004].

Vers des systèmes intégrés

L'intégration des transports artisanaux dans des systèmes institutionnels pose de nombreux défis. Les enjeux sociaux de ce secteur sont connus. Les nombreux emplois, certes précaires, fournissent une activité à des primo arrivants issus de l'exode rural depuis le milieu du XX^{ème} siècle, comme c'est le cas des motos-taxis de Cotonou [Agossou, 2004]. Du point de vue des usagers, la mobilité quotidienne de quartiers isolés ou délaissés par les pouvoirs publics repose en partie sur ces services informels, comme c'est le cas pour les autres services urbains de base tels que l'eau ou l'électricité. L'absence de réseaux institutionnels est palliée par des solutions issues de la société civile [Criqui, 2014].

Cependant, la question est complexe et il n'est pas question d'idéaliser ces solutions alternatives qui ont de nombreuses externalités négatives. En revanche, elles fonctionnent et il semble difficile de simplement remplacer ces systèmes par des transports publics. Que faire des emplois ? Comment construire une desserte aussi efficace malgré la concurrence des transports artisanaux ? Comment favoriser l'institutionnalisation des transports informels ?

La réponse à toutes ces questions est essentielle à la construction d'un système de transport durable pour les villes où la mobilité quotidienne repose pour l'instant sur le transport artisanal [Godard, 2009]. Les risques d'une fragmentation de l'offre entre transporteurs légaux et illégaux plus ou moins intégrés à une desserte planifiée ont été soulignés pour le cas de l'Afrique du Sud [Lomme, 2004]. Les systèmes de transports collectifs sont dans la même situation que les autres réseaux urbains : l'enjeu principal est l'uniformisation du secteur et des infrastructures alors qu'ils se composent de multiples offres et acteurs [Jaglin, 2012]. Il apparaît nécessaire d'investir des fonds publics pour permettre de limiter les externalités négatives de ce secteur tout en conservant leurs avantages. Ces investissements semblent souvent trop importants pour un secteur qui jusqu'alors n'appelait aucune dépense de la part de la collectivité [Lomme, 2004].

D'un point de vue opérationnel, s'interroger sur les structures spatiales des transports artisanaux et mettre en évidence les relations dynamiques qui existent entre les différentes échelles de ces systèmes permettrait d'identifier les processus à l'œuvre et leurs qualités. Cependant, considérer les transports artisanaux pose de nombreux défis qui sont relevés par des champs disciplinaires variés. L'exploration des méthodes d'analyse s'impose pour permettre de construire des outils adaptés à chaque cas. Dans ce contexte, nous proposons de construire une approche spatialisée du transport artisanal.

1.4 Enjeux et positionnement de la recherche : d'où travailler sur le transport artisanal ? Quels enjeux ?

La spatialisation des transports artisanaux cristallise des enjeux scientifiques de deux types : des enjeux thématiques liés à l'analyse d'un phénomène de transport mondialisé et des enjeux épistémologiques liés à la construction d'une démarche scientifique.

1.4.1 Construire une démarche adaptée à l'analyse de phénomènes mondialisés

Pays du Sud, des suds, en développement ...

Nous n'avons pas directement évoqué jusqu'à présent le caractère polarisé de la notion d'informel. Elle a d'abord été construite pour désigner des processus qui ont lieu dans les pays du Sud (à Accra et au Kenya). À l'origine, la notion de transport artisanal est elle aussi mise au point pour désigner des transports de pays du Sud. Celle-ci a pourtant pour ambition d'éviter le positionnement normatif reproché au vocabulaire de l'informalité. Nous faisons le choix de tenter de dépasser ces notions trop larges qui relèvent d'un point de vue "occidentalo centré". Pourtant, la majorité des recherches sur les transports artisanaux étudient des cas de villes du Sud et les questions opérationnelles se posent dans le cadre de projets de développement. Revenons sur ces notions qui posent problème à un certain nombre de chercheurs comme en témoigne la publication du numéro 41 de la revue *Autrepart* en 2007 : "On dirait le Sud".

Cette dénomination polarisée succède progressivement depuis les années 1990 à pays en développement et "Tiers Monde". Cette dernière expression est issue d'un texte d'Alfred Sauvy de 1952. Il désigne ainsi la situation d'une partie de la planète : "ce Tiers Monde ignoré, exploité, méprisé comme le Tiers État, veut lui aussi, être quelque chose" [Sauvy, 1952]. Il rapproche le Tiers Monde du Tiers État et de la troisième partie d'un monde divisé par la guerre froide. Cette expression conjoncturelle est remplacée après la chute du mur de Berlin par le lexique du développement : en développement, en voie de développement ... Cet ensemble sous-entend la reconnaissance internationale de la nécessité d'atteindre un certain niveau de vie et de l'engagement dans un processus pour l'atteindre. Ces formulations comportent donc une injonction et un jugement, principalement économique [Dufour, 2007]. L'utilisation de l'expression "pays du Sud" tend vers plus de neutralité. Cependant, ce néologisme comporte sa part de connotation et d'ambiguïtés. L'utilisation de ce terme valide une bipartition du monde et porte les stéréotypes de ces prédécesseurs [Dufour, 2007]. Ainsi, le sud désigne une "altérité hiérarchique" pour des raisonnements "Nord centrés" en sciences sociales [Hours and Selim, 2007]. La question reste la même : savoir comment nommer ces "autres"? Certains continuent d'alimenter le débat en s'essayant à des considérations plus neutres ; ou plus centrées sur un contexte environnemental qu'économique avec "Tropicalisme" par exemple [Raison, 2007] (à distinguer de la géographie tropicale de Pierre Gourou).

Nous n'avons pas l'ambition de répondre à cette question, ni de proposer un nouveau terme. Notre objet de recherche permet de contourner le problème et de tenter une approche qui fait abstraction de la fracture Nord / Sud. Cette approche se justifie de plusieurs manières.

Des modèles urbains du Nord au Sud : vers une uniformisation des phénomènes, des problématiques et des méthodes ?

Il est communément admis que la part modale des transports collectifs est liée à la morphologie urbaine [Tran et al., 2014] [Le Néchet and Aguiléra, 2012] [Merlin and Fouchier, 1994] [Le Néchet, 2015] [Pouyanne, 2010]. Schématiquement, l'utilisation du transport en commun évolue conjointement à la densité et à la polarisation urbaine. Autrement dit, plus les fonctions et activités sont concentrées plus les modes collectifs sont utilisés [Joly et al., 2003]. Les deux exemples types sont Los Angeles, archétype de la ville automobile, et Barcelone, ville dense et polarisée. En raison de la difficulté d'accès à l'automobile, les villes du Sud ont la particularité d'avoir un fort taux d'utilisation des transports collectifs alors que leur morphologie urbaine ne correspond pas au modèle [Montezuma, 2003]. Cette remarque de [Montezuma, 2003], est le révélateur d'un certain positionnement des théories sur les transports et la ville. La construction des théories urbaines s'est faite au siècle dernier à partir des villes du Nord en pointant les manques de celles du Sud [Hancock, 2007]. Dans ce contexte, l'enjeu est de changer d'approche pour cesser d'analyser les villes du Sud en opposition à celles du Nord [Edensor and Jayne, 2012]. Des tentatives de théorisation de ces situations urbaines différentes du point de vue des transports amènent à reconsidérer les structures urbaines. C'est le cas par exemple des formes urbaines liées à l'utilisation des motos-taxis [Guézéré, 2013]. Ces théories illustrent parfaitement l'émergence de nouveaux modèles qui s'intéressent aux villes qui conservent des dynamiques particulières. L'intérêt de cette démarche est de ne pas considérer que les modèles du Nord se reproduisent au Sud, mais bien que les phénomènes urbains ont des origines multiples.

Des indices d'une convergence des processus dans les transports urbains ?

L'étude des transports et de la mobilité urbaine a l'avantage de s'appuyer sur une approche pluridisciplinaire qui facilite la construction de théories qui dépassent les clivages Nord / Sud pour s'intéresser à la ville en tant que telle.

Dans des régions à fort taux de motorisation, la libéralisation progressive du secteur des transports collectifs fait naître des processus similaires à ceux des villes moins motorisées. Autrement dit, des phénomènes qui s'apparentent au transport artisanal apparaissent dans des

villes occidentales, sans atteindre le niveau de déréglementation des cas mentionnés jusqu'à présent.

L'utilisation du numérique crée de nouvelles offres qui sont pour l'instant assez peu étudiées. Sous couvert d'économie collaborative et de préoccupations écologiques, des entreprises servent d'intermédiaires entre une offre atomisée et une demande qui vante la "souplesse" de ce nouveau service. Le lien avec le transport artisanal pose question. Les transports "collaboratifs" qui apparaissent en France ne reposent sur aucune centralisation de la desserte. Qu'on s'intéresse aux coopératives d'auto-stop, aux plateformes de covoiturage ou de taxis, l'absence d'organisation technique et planifiée des trajets et horaires reste un point commun avec le transport artisanal. D'autres similitudes nous interpellent, Uber en France comble les vides de l'offre de transport public pour des usagers qui n'auraient pas les moyens de se déplacer autrement [Bianquis, 2017], en particulier pour les voyages nocturnes [Louvet, 2015]. Finalement, l'apparition du "Uber collectif" serait l'avènement de la généralisation du transport artisanal des pays qui se disent "développés". Ce processus est déjà en cours aux États-Unis, où la nouvelle donne apportée par les évolutions technologiques relance les espoirs de voir la mobilité urbaine transformée, et optimisée, par les *smartphones* [King, 2015]. L'étude du *paratransit* revient avec sa réapparition aux États-Unis. Des minibus compensent la disparition de lignes de bus à New York par exemple [King and Goldwyn, 2014]. Ainsi les villes occidentales voient progressivement leurs systèmes de transport glisser vers le transport artisanal, mais peut-être en ajoutant une dimension numérique. Cependant, la diffusion de ces nouvelles technologies pourrait transformer également les systèmes qui fonctionnent uniquement avec du transport artisanal. Les applications de référencement des itinéraires des bus [Williams et al., 2015] ou de réservation de places [Bouillon, 2016] à Nairobi n'ont pas attendu *Uber* pour faire entrer le transport artisanal dans le XXI^{ème} siècle. Ainsi, les offres de transports pourraient converger vers des modèles qui dépassent les clivages Nord / Sud. Il s'agit à notre connaissance d'un cas isolé et les obstacles à une diffusion de ces pratiques sont nombreux. Les infrastructures de télécommunication, par exemple, sont assez peu performantes dans de nombreuses villes où le transport artisanal est la règle. La question est de savoir si les outils numériques pourraient être une partie de la solution pour dépasser les limites qu'on connaît aux transports artisanaux : pollution, congestion, précarité des emplois, qualité de desserte inégale ...

1.4.2 Proposer une approche objective ?

Arène sociale et milieu scientifique, deux mondes dans lesquels se positionner

L'objectivation est la première mission du chercheur, ou du moins la construction d'outils d'objectivation. Il fait cependant partie intégrante de ce tout qu'il tente d'observer. L'enjeu est donc d'assumer à la fois d'observer et de faire partie de l'arène sociale. Ce double je(u) implique d'analyser notre propre subjectivité pour prendre du recul sur nos représentations et nos pratiques.

La recherche en géographie peut facilement être conditionnée par la demande sociale. La petite part des démarches théoriques dans la production scientifique du siècle dernier illustre bien cette tradition très concrète de la discipline. De "la géographie ça sert d'abord à faire la guerre" [Lacoste, 1976] à la "culture du voyage" [que nous aurions tort de négliger] [Burgel, 1984] ou encore les *Découvrir la France* de Roger Brunet [Brunet, 1974], la géographie est parfois utilisée pour satisfaire une demande sociale d'inventaire et d'exotisme. Depuis l'après-guerre, les géographes se retrouvent également dans les projets d'aménagement [Mercier, 1988]. Dans le cas qui nous intéresse, les vertus des transports artisanaux sont régulièrement questionnées, tout comme les enjeux liés à leur régulation. La mission du chercheur est également de porter un regard critique sur ces sujets, sans pour autant s'attacher à répondre directement aux questions sociales dont la temporalité et la pertinence sont difficilement conciliables avec les impératifs scientifiques. Il s'agit de produire une "recherche impliquée" qui se différencie de la recherche appliquée en ce qu'elle connaît les problématiques sociales sans pour autant en être l'esclave [Gumuchian et al., 2000].

L'appel des sirènes technocratiques est puissant dans le domaine très centralisé de l'aménagement des transports. Le secteur artisanal peut vite passer pour une interférence contrariante dans la planification d'un système de transport institutionnel. Or les atouts de ces modèles alternatifs méritent qu'on leur porte attention : faible coût pour les pouvoirs publics, desserte étendue, emploi, flexibilité du service ... [Godard, 2008]

A contrario, l'idéalisation d'une forme de "génération spontanée" des transports collectifs peut rapidement faire oublier les nombreuses externalités négatives de ces systèmes. Sur le plan social, la précarité et la pénibilité des emplois du transport artisanal a été démontrée par [Shadi and Brouwer, 2011] en prenant l'exemple de Kinshasa où équipages des véhicules souffrent de conditions de travail difficiles. En effet, la précarité des emplois et les expositions nocives constantes ont un impact sur la santé des travailleurs, entraînant des pertes de poids, une fatigue anormale et des troubles du sommeil.

D'autre part, les inégalités d'accès à la mobilité ne sont pas résolues par les transports artisanaux : ceux-ci constituent une solution lorsqu'il n'y a pas d'autres services disponibles, mais les plus pauvres ont un accès au transport moindre que ce soit à Dakar [Olvera et al., 2002] ou à Lima [Wester, 2014]. Le caractère principalement collectif du transport artisanal laisse supposer qu'il serait plus respectueux de l'environnement que l'automobile. Les impacts environnementaux de ces systèmes sont considérables en raison de l'état de décrépitude des véhicules qui génèrent une importante pollution atmosphérique et sonore [Godard, 2008]. Dans certaines villes, les pouvoirs publics tentent de favoriser l'émergence de transports artisanaux moins polluants, c'est le cas des rickshaws à Delhi par exemple [Arundhathi and Zia, 2017].

Il convient de dépasser le manichéisme des deux points de vue précédents. Le fonctionnement économique de ces systèmes de transport les relie à la ville néolibérale. Cet objet urbain émergent depuis le dernier tiers du XX^{ème} siècle résulte de la libéralisation économique et du pouvoir grandissant du capital dans les politiques urbaines. La régulation est abandonnée au profit des lois du marché pour des questions urbaines qui relevaient jusqu'à présent des institutions. Ce processus comporte plusieurs facettes au niveau global : il prend place dans un contexte mondialisé et touche les espaces de manière différenciée [Brenner et al., 2010]. Autrement dit, les dynamiques sont interdépendantes au niveau mondial, mais il ne s'agit pas d'une diffusion de modèles. Les espaces sont constamment remodelés par une alternance de tentatives de régulation et de libéralisation [Harvey, 2007].

Ce glissement a un impact sur l'espace urbain. Il se caractérise par une importante fragmentation générée par l'apparition de *gatted communities*, la gentrification des centres urbains et le rejet de certaines catégories de population dans les marges. Souvent travailleurs pauvres, ils ne participent pas à la vie politique et civique [Hackworth, 2006]. Ces formes de villes gouvernées par le marché voient naître un autre espace politique, en dehors des lieux traditionnels. Cette *street politic* prend forme par et pour ceux dont la rue est l'unique lieu de l'urbain [Bayat, 2012]. Ainsi, les artisans du transport, tout comme leurs véhicules et les lieux du transport artisanal participent de cet espace urbain et politique alternatif. Lieux d'échanges et de conflits autour de l'activité, mais également de la vie politique locale, ils font partie intégrante de cette *city-inside-out* [Bayat, 2012]. Autrement dit, le transport artisanal participe de ce phénomène qui transforme l'espace de la rue en espace politique dans le contexte de la ville néolibérale. Ainsi, les spécificités du transport artisanal lui donnent un rôle différent de celui qu'on attribue habituellement au transport dans la ville. À cheval entre "cause structurante" et "effet des structures" la relation entre villes et transports a été largement étudiée et documentée. Le processus émergent qui caractérise le transport artisanal lui donne un rôle de catalyseur urbain.

Ce secteur crée une certaine forme de lien flexible entre les citoyens - usagers du transport ou opérateurs de l'offre - malgré les difficultés économiques et sociales dont il est issu.

Une telle réflexion autour de l'impact de notre objet d'étude revient à chercher une justification du travail de recherche. Que ce soit à court terme ou à moyen terme, la question de l'évaluation de ces systèmes est posée. Dresser un constat nuancé des atouts et limites de ces phénomènes cautionne en partie l'intérêt de mener une recherche autour de leur spatialisation. Cette recherche est, comme les autres, tiraillée entre un penchant théorique très prononcé qui s'oriente vers l'identification de processus généraux, la construction de savoirs destinés à alimenter la sphère scientifique, et une demande sociale forte autour des enjeux du transport artisanal dans l'aménagement urbain.

Géographie des transports, mais dans espace tropical et avec une approche théorique et quantitative

Comme nous le disions précédemment, la géographie des transports est constituée par l'étude et la conception des infrastructures, la planification et l'organisation des services de transport ... Les études de phénomènes existants sans volonté d'aménagement portent plutôt sur les questions de mobilité. Les usagers et les stratégies qu'ils développent pour se déplacer sont alors au centre des analyses. La démarche quantitative est présente ici dans l'étude des flux et dans des analyses socio-économiques. La tradition du champ gravite autour de modélisations mathématiques et informatiques. Nous nous plaçons donc tout naturellement dans une démarche théorique et quantitative [Cuyala, 2014].

Nous nous intéressons cependant à des systèmes de transport qui existent majoritairement dans les pays du Sud. Nos terrains d'étude sont plutôt la chasse gardée de la géographie dite "tropicale" qui prend la suite de Pierre Gourou [Gourou, 1982]. Ce courant a la réputation d'éviter toute quantification et de ne pas théoriser, d'où son nécessaire dépassement [Bruneau and Courade, 1984]. Ainsi, la géographie tropicale théorise, fort heureusement. Il s'agit de la "nouvelle géographie tropicale" [Bruneau, 2006]. Cette démarche systémique et modélisatrice est développée par la *Géographie Universelle* dirigée par Roger Brunet, notamment les volumes consacrés aux pays du Sud [Durand-Dastès and Mutin, 1999] [Deler et al., 1994]. Par ailleurs, de nombreux chercheurs affiliés à l'ORSTOM se trouvent parmi les premiers géographes qui se sont intéressés aux méthodes quantitatives venues des États-Unis [Cauvin, 2007]. Aujourd'hui, des travaux de géographie théorique et quantitative s'intéressent aux pays du Sud [Oliveau, 2004] [Borderon, 2016] [Lammoglia, 2013] [Laperrière, 2009]. Parallèlement,

les équipes de l'UMR IDEES s'intéressent à la modélisation dynamique sur des terrains variés, entre autres dans les Suds, avec les plateformes de simulation MAGéO⁴ et MAG⁵.

Les recherches menées jusqu'à présent sur les transports artisanaux ont cette double appartenance à la géographie tropicale et à la géographie des transports. Cependant, nos problématiques tendent à dépasser la tropicalité pour des problématiques urbaines plus globales.

1.5 Conclusion du chapitre 1

La mobilité recouvre de nombreux enjeux sociaux, environnementaux, économiques et spatiaux. L'injonction paradoxale à la mobilité, notamment pour des raisons économiques, a des conséquences sociales et environnementales. Dans ce contexte, le lien privilégié entre espace et mobilité est un levier pour chacun des autres éléments du système complexe urbain. La dimension spatiale de la mobilité est en effet fondamentale. L'approche individualisée des trajectoires spatio-temporelles permet d'analyser finement la mobilité. Les processus restent les mêmes au-delà de contextes variés. Ainsi la mobilité des pays à faible taux de motorisation recouvre les mêmes enjeux malgré la présence d'autres systèmes de transport, tels que les transports artisanaux.

Les transports non institutionnels sont un phénomène aux multiples facettes. À la fois reliés à la ville informelle et aux problématiques urbaines néolibérales, ces systèmes sont source d'inspiration quand il s'agit d'imaginer les transports de demain. Le recours aux trois notions d'informel, d'artisanal et de *paratransit* est nécessaire pour poser une définition claire des processus en jeu. La variété des moyens techniques et des modes d'organisation est reliée au caractère mouvant du secteur. Le transport artisanal se définit finalement par l'absence de centralisation, autrement dit, l'éclatement de la propriété et l'autonomie des équipages de véhicules. Malgré une cohabitation périodique avec des systèmes institutionnels, ce phénomène urbain reste présent dans de nombreuses villes du monde.

Une réflexion thématique permet de voir que les transports artisanaux sont incontournables dans le développement des transports urbains des villes où ils existent. Ces solutions de déplacement répondent à un besoin qui n'est pas satisfait par des services institutionnalisés. En tant qu'émanation directe des besoins des citoyens, ces transports sont particulièrement adaptés au contexte dans lequel ils émergent.

Sur le plan opérationnel comme scientifique, appréhender ce secteur pose de nombreux défis. De la monographie à la recherche de tendances globales, divers raisonnements et méthodes

4. <https://sites.google.com/site/mageosim/mageo-version-francaise>

5. <http://mag.hypotheses.org/>

ont été appliqués à cette thématique. Spécialistes des transports, géographes, économistes et anthropologues ont mis en évidence le caractère pluridisciplinaire de ce champ et la nécessité de promouvoir des approches croisées. Notre position sur ces questions fait appel à une réflexion scalaire : globalement et sur le plan économique, ces systèmes sont totalement dérèglementés, à échelle macro une intelligence collective apparaît à partir des stratégies individuelles des équipages de véhicules et des usagers.

Nous proposons une approche théorique et quantitative pour analyser les structures et les dynamiques spatiales de ces systèmes. Pour ce faire, notre travail s'intéresse à deux villes : Lima (Pérou) et Brazzaville (Congo). Le chapitre suivant s'intéresse à ces deux cas d'étude. Ils font l'objet d'une présentation individuelle et d'une mise en perspective par rapport à la thématique des transports artisanaux.

CHAPITRE 1. DES MOBILITÉS AUX QUESTIONS DE TRANSPORTS

Chapitre 2

Transports collectifs artisanaux : Lima, Brazzaville et autres cas pratiques

Les transports collectifs artisanaux sont présents dans de nombreuses villes en développement. Afin d'étudier de près ce phénomène, nous avons fait le choix de nous intéresser à deux villes : Lima et Brazzaville. Respectivement capitales du Pérou et de la République du Congo, ces deux villes sont marquées par la présence de transports collectifs artisanaux. Nous proposons une méthodologie d'observation et d'analyse des systèmes de transport artisanaux à travers ces cas d'étude. Ce chapitre a pour objectif de montrer une possibilité de première approche du transport artisanal. Nous nous concentrons sur les contextes et les spécificités organisationnelles de chaque exemple. Lima et Brazzaville sont deux villes très différentes : elles évoluent dans des contextes continentaux et régionaux distincts. Cependant, leurs systèmes de transports collectifs reposent en partie ou en totalité sur des transports artisanaux. La comparaison de ces deux trajectoires et des deux systèmes de transport qui en résultent dans leurs espaces souligne la diversité et l'adaptabilité de l'artisanat.

Dans un premier temps, nous présenterons les deux cas étudiés et questionnerons leur valeur représentative par rapport à ce phénomène. Cela nous permettra de proposer une typologie à partir de la confrontation de ces deux cas avec d'autres situations documentées.

2.1 Lima et Brazzaville : trajectoires et contextes

Les transports collectifs de Lima et Brazzaville sont deux systèmes qui fonctionnent différemment. Leurs trajectoires environnementales et historiques sont bien distinctes. Elles mènent cependant toutes deux à une situation de désengagement de l'État dans les transports et

CHAPITRE 2. LES TRANSPORTS COLLECTIFS ARTISANAUX

à l'apparition de transports collectifs fondés uniquement sur un secteur privé fragmenté. Ainsi la mobilité quotidienne dans ces deux villes repose en partie ou en totalité sur des transports artisanaux.



FIGURE 2.1 – Carte de situation



FIGURE 2.2 – Carte de situation



FIGURE 2.3 – Carte du Pérou



FIGURE 2.4 – Carte du Congo

2.1.1 Histoire urbaine de "Lima la horrible" [Salazar Bondy, 1964]

"Nor is it, altogether, the remembrance of her cathedral-toppling earthquakes; nor the stampedes of her frantic seas; nor the tearlessness of her skies that never rain; nor the sight of her wide field of leaning spires, wrenched cope-stones, and crosses all adroop (like canted yards of anchored fleets); and her suburban avenues of house-walls lying over upon each other, as a tossed pack of cards; - it is not these things alone which make tearless Lima, the strangest, saddest city thou can'st see.

For Lima has taken the white veil; and there is a higher horror in this whiteness of her woe. Old as Pizarro, this whiteness keeps her ruins for ever new; admits not the cheerful greenness of complete decay; spreads over her broken ramparts the rigid pallor of an apoplexy that fixes its own distortions."

Herman Melville, *Moby Dick*, 1851.

De la ville coloniale au boum démographique : Lima contrôlée et planifiée

Lima a été fondée par Pizarro en 1535. À une douzaine de kilomètres de l'océan, le premier établissement se situe sur la rive sud du fleuve Rimac. Cette zone est caractérisée par la présence d'un fort taux d'humidité dans l'air et d'une couverture nuageuse récurrente en raison de l'influence du courant de Humboldt. Ainsi, Lima est surnommée la « ville grise » malgré une pluviométrie très faible. Il s'agit d'un climat aride associé à une géomorphologie caractérisée par des roches friables. Les *cerros*, reliefs collinaires, qui entourent la ville sont particulièrement sujets aux glissements de terrain dus à l'érosion.

En tant que base de l'empire colonial espagnol, Lima est chargée de références et de symboles. Dès sa fondation, la *ciudad de los reyes* incarne la domination espagnole et la continuité du fait urbain entre l'Espagne et ses colonies. Les conquistadores espéraient ainsi marquer leur territoire et offrir un bon cadre de vie aux Espagnols. Cette ville nouvelle est construite comme un idéal urbain qui concrétise les idéaux du temps. Lima est ainsi pensée selon une structure géométrique et fonctionnelle permettant de respecter l'idéal moral et hygiéniste que les colons souhaitent imposer aux indigènes. La ville respecte le fameux plan en damier. Elle est structurée par carrés de 110 mètres, qu'on appelle *cuadras* avec des rues larges qui rejoignent la place d'armes où se trouvent la Cathédrale, la Mairie et le Palais

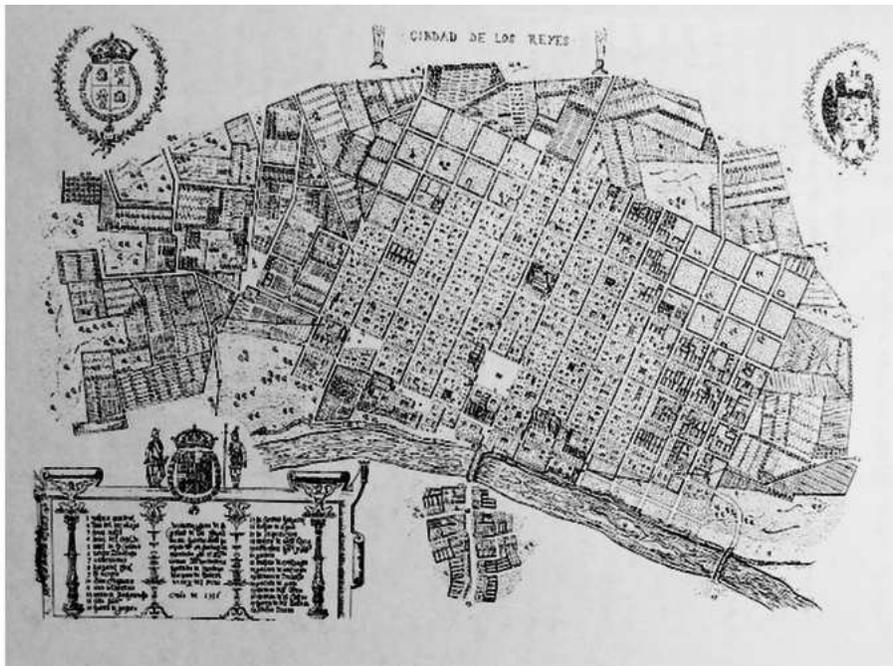


FIGURE 2.5 – Plan de la ville de Lima au XVI^{ème} siècle cité par [Musset, 1997]

Royal (Figure 2.5). La cité s’identifie ainsi aux pouvoirs royaux, municipaux et ecclésiastiques [Musset, 1997].

La capitale se situe sur une zone sismique au croisement des plaques tectoniques d’Amérique du Sud et du Pacifique. Ainsi, la ville est régulièrement touchée par les tremblements de terre. Malgré une destruction quasi totale en 1687, Lima n’a pas été transférée ailleurs comme ce fût le cas pour la ville de Guatemala [Musset, 1997]. Depuis lors, les secousses récurrentes défient les autorités publiques que ce soit pour la gestion de la crise, la reconstruction ou la prévention de la suivante. En 1746, la ville est une nouvelle fois durement touchée par un tremblement de terre suivi d’un tsunami qui obligent le roi d’Espagne à intervenir avec un programme de reconstruction limitant la hauteur des bâtiments [Walker, 2008]. Cependant, Lima se développe aujourd’hui dans le déni de la prochaine crise sismique. Un "Big One" qu’annoncent les experts et dont les conséquences seraient amplifiées par les disparités sociales actuelles [Robert, 2013].

L’essor économique du XIX^{ème} siècle attire de plus en plus de personnes. Les murailles originelles sont abattues dans les années 1870 pour permettre l’expansion urbaine. Un chemin de fer relie Lima au port de Callao. Les activités industrielles se développent autour de cet axe. La ville est reliée aux stations balnéaires des Miraflores et Barranco par un tramway

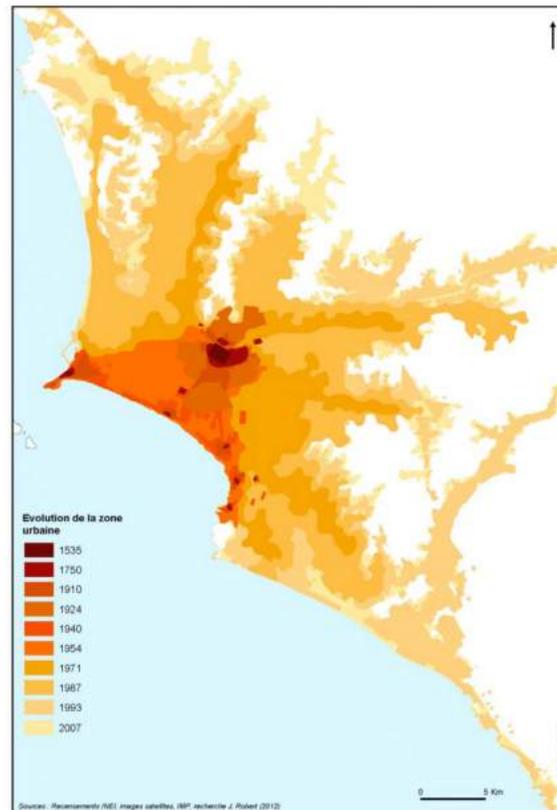


FIGURE 2.6 – Évolution de Lima depuis sa fondation par [Robert, 2013]

inauguré en 1903. [Leonard, 2000]. Ces villages absorbent l'expansion urbaine et prennent des fonctions résidentielles.

Lima au XX^{ème} siècle : la "monstruopole"

La population liménienne connaît une croissance très importante au cours du XX^{ème} siècle. Les 376 000 habitants de 1931 sont devenus 7.5 millions en 1995 [Leonard, 2000]. Cette expansion est due notamment à l'exode rural dans le contexte de surpopulation des campagnes et de modernisation de la capitale. Sur le plan urbanistique, cette explosion démographique se traduit par un étalement urbain important jusqu'aux années 1990 (Figure 2.6). La ville planifiée et ordonnée depuis le XVI^{ème} siècle échappe ainsi au contrôle des autorités.

Les premiers quartiers destinés aux ouvriers et classes moyennes sont édifiés en périphérie dans les années 1950, à l'initiative de l'État. Les quartiers auto construits apparaissent dans les années 1960. Le triangle entre le centre historique, La Punta et Chorillos est entièrement

peuplé. L'étalement vers le Nord, le Sud et l'Est en suivant les vallées démarre dans les années 1970 [Gonzales et al., 2011]. L'urbanisation à cette période repose en grande partie sur l'auto construction et le secteur informel. Les quartiers ainsi formés prennent le nom de *barriadas* ou *assentamientos humanos*. Une fois les parties urbanisables occupées, les nouvelles installations ont lieu sur les pentes friables des *cerros* [Driant, 1989].

Dans les années 1980, la croissance urbaine devient moins forte, deux tiers de la population de Lima vit en dehors du centre historique. La ville se réorganise en une répartition fonctionnelle "poly-centrique" où les activités se concentrent dans le triangle entre Lima, La Punta et Chorillos. Le centre historique conserve des activités politico-administratives, San Isidro devient le centre financier, des centres commerciaux deviennent pôles de croissance sur le littoral. Le centre de commerce international de Callao autour du port et de l'aéroport devient la principale porte d'entrée et de sortie du pays [Gonzales et al., 2011].

Le développement des infrastructures viaires va de pair avec celui de l'aire urbaine tout au long du XX^{ème} siècle. Les principales avenues desservant le centre de l'agglomération ont été construites dans les années 1920 : Arequipa, Paseo de la Republica et Brazil sont de longues avenues de deux fois deux voies dans le sens Nord / Sud qui relient le centre historique au bord de mer sur un axe Nord / Sud (Figure 2.9). Dans la seconde moitié du siècle, les infrastructures continuent à se développer dans la partie centrale de l'agglomération avec Angamos, Primavera et Javier Prado qui sont des avenues de deux fois deux voies d'Est en Ouest ; le Circuito de la Playa comme son nom l'indique suit le bord de mer. La voie rapide Evitamiento, qui permet à la Panaméricaine de contourner la ville depuis 1950, n'intègre en aucun cas les quartiers périphériques qui se développent rapidement. C'est seulement à partir des années 1970 et 1980 que des voies intégratrices sont construites : Tupac Amaru qui permet de se rendre dans le cône Nord et Carretera Central [Vega Centeno et al., 2011]. Ces deux voies rapides sont, avec la Panaméricaine, les seules voies permettant de relier les périphéries au centre. La Panaméricaine traverse Lima selon l'axe Nord / Sud donc elle permet de desservir les zones Nord et Sud, c'est la seule voie rapide intégrant Lima-Sud.

L'étalement urbain ralentit dans les années 1990 et une densification du centre comme des périphéries le remplace [Ledgard and Solano, 2011]. Les dynamiques urbaines actuelles se déroulent dans un contexte d'extension plus lente, de métropolisation, de croissance économique et de mondialisation.



FIGURE 2.7 – Localisation des zones périphériques



FIGURE 2.8 – Localisation des districts mentionnés

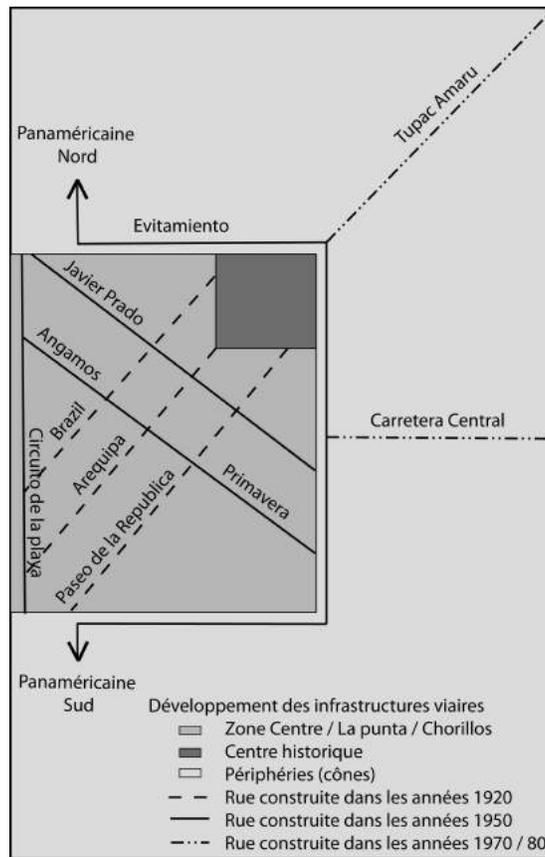


FIGURE 2.9 – Schéma du développement des infrastructures viaries à Lima (Léa Wester)

Problématiques actuelles

Lima représente près d'un tiers de la population péruvienne et participe grandement à placer le Pérou au 86^{ème} rang mondial de l'IDH. La capitale se situe dans la partie côtière du pays, la plus peuplée et pourvue en infrastructures. Les zones andines et amazoniennes sont moins bien équipées et reliées du fait de leurs contraintes environnementales [Deler et al., 1994].

La capitale péruvienne jouit d'une réputation mélancolique auprès des artistes et écrivains qui y ont séjourné. Le voile blanc qui recouvre la ville devient un symbole. Lima est aussi une légendaire cité coloniale consacrée par Ricardo Palma en 1872 comme une ville puissante et prospère [Palma, 2002]. Cependant, cette agglomération de plus de 9 millions d'habitants et 3000 kilomètres carrés échappe aujourd'hui à ces représentations ; ou plutôt à la représentation puisque le seul plan lisible s'étale sur près de 200 pages. Au cours du XX^{ème} siècle, les citadins ont perdu le "sens de la ville". Autrement dit, les habitants n'ont plus de mots pour qualifier et imaginer leur espace urbain [Choay, 1972]. Les transports ne sont pas étrangers à cette perte de sens. Ils font partie des éléments de rupture des représentations de la ville identifiés par [Belay, 2004] : "La grave crise des transports que connaît Lima depuis les années 1980 a fait du déplacement dans la ville, et de la relation temps / espace qui la configure, une épreuve, consommatrice de temps et d'efforts, qui fragmente un territoire difficile à traverser." Il souligne également les effets de la destruction d'une partie du patrimoine bâti du centre historique par les tremblements de terre successifs et les projets de modernisation. Ce à quoi s'ajoute la disparition d'espaces publics ouverts au profit de la fragmentation et de la fermeture sécuritaire des résidences et des centres commerciaux.

Lima se transforme au début du XXI^{ème} siècle. [Gonzales et al., 2011] dénombre plusieurs facteurs du changement dans l'espace urbain :

- la croissance démographique et la densification urbaine
- les réformes néolibérales, notamment la libéralisation, la dérégulation et la flexibilisation du marché du travail
- les externalités négatives liées à la croissance urbaine et à l'augmentation du parc automobile
- les investissements croissants
- l'amélioration des ressources fiscales
- la décentralisation de l'État

Ces différents processus créent des dynamiques urbaines particulières. Les questions de gouvernance, de développement économique, social et environnemental, se posent après un demi-siècle d'expansion incontrôlée, de libéralisation et de désengagement de l'État.

L'aire urbaine de Lima, appelée Lima Métropolitaine, est gouvernée par plusieurs entités différentes : une municipalité provinciale à Lima et une municipalité provinciale à Callao mais également une autorité régionale pour chacune. Ces quatre entités sont parfois en conflit de compétence, notamment pour les ressources fiscales [Gonzales et al., 2011].



FIGURE 2.10 – Carte des échelons administratifs de Lima

De la même manière à l'échelle intra-urbaine, l'agglomération est découpée en districts qui ont chacun des compétences et des frontières floues (Figure 2.10). L'existence de flottements administratifs et institutionnels dans les compétences des municipalités de districts produit des pratiques d'arrangements entre les citoyens et les autorités. Des espaces privilégiés de l'informalité politique émergent dans ces interstices [Sierra, 2016]. Ces districts sont regroupés dans la Municipalité Métropolitaine, chargée théoriquement des problématiques communes.

Cependant, certaines municipalités développent des stratégies entre le formel et l'informel pour orienter le développement urbain en dehors de la Municipalité Métropolitaine. La municipalité de Rimac s'accorde ainsi une marge de manœuvre dans la gestion de travaux publics, de l'urbanisation ou des programmes sociaux [Robert and Metzger, 2016].

Spatialement, Lima est devenu une ville polycentrique organisée autour de centres spécialisés et de réseaux informationnels, économiques, financiers et d'infrastructures. Cependant, on observe une forte ségrégation entre les zones à forte intégration et les zones exclues [Chion, 2002]. Cette fragmentation de l'économie urbaine se double d'une ségrégation résidentielle [Michel, 2012]. Les périphéries résidentielles abritent des populations en plus grande difficulté. Les infrastructures viaires sont plus présentes dans la partie centrale de l'agglomération. Peu de routes permettent de relier les périphéries au centre. Il s'agit d'une importante source de congestion étant donné que les activités situées dans le centre polarisent les déplacements à partir des périphéries [Ludeña Urquiza, 2010]. Cependant, le gradient centre / périphérie doit être aujourd'hui nuancé par une intégration urbaine plus complexe à échelle fine. Les quartiers les plus récents apparaissent comme plus précaires, ainsi certaines périphéries anciennes sont plus aisées [Piron et al., 2015]. L'expansion de l'aire urbaine continue, grignotant sur les espaces ruraux qui sont progressivement intégrés dans la métropole. Ces extensions périphériques sont livrées à elles-mêmes et posent question quant à l'orientation de leur évolution, notamment sur la prise en compte des acteurs locaux par la municipalité métropolitaine [Mesclier et al., 2011]. Les disparités d'accès aux infrastructures de base, telles que l'accès à l'eau et au tout à l'égout, révèlent les difficultés d'intégration de différents espaces dans la métropole. Ainsi, il existe une dualité entre quartiers aisés et quartiers pauvres, mais également entre zones déjà urbanisées et zones plus rurales qui font déjà partie du champ de compétence de la municipalité métropolitaine [Mesclier et al., 2016].

Les questions de raccordement aux différents réseaux et services urbains rejoignent celles de la gouvernance et de la dimension informelle de la gestion de ces problématiques. Ainsi, il n'est pas rare de trouver des organisations plus ou moins formelles qui répondent aux besoins de certaines zones. L'eau et l'électricité sont ainsi tantôt mises en place par les autorités publiques, tantôt par la population ou par des entreprises privées [Criqui, 2014].

Depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle, l'informel est la règle dans de nombreux secteurs : habitat, emploi, raccordements à l'eau et à l'électricité, transports en commun... En effet, les réformes économiques mises en place par le président Alberto Fujimori ont profondément transformé le Pérou. Au delà de l'application des ajustements structurels recommandés par les institutions internationales, Fujimori organise une véritable libéralisation économique que certains contemporains ont appelé le "Fujishock". Privatisations, dérégulation

et dévaluation de la monnaie ont entraîné une croissance du PIB de 12% en 1994, sans diminuer le taux de pauvreté qui reste aux alentours de 50% sur la période. Lima est le terrain d'étude d'un ouvrage fondateur dans les études du secteur informel latino-américain [Soto and Ghibellini, 1994]. Les auteurs soulignent la vitalité de cet "autre sentier" qui se développe à Lima dans un contexte économique et politique libéral [Soto and Ghibellini, 1994]. Ce volet de l'économie urbaine répond ainsi à de nombreux besoins des Liméniens. En termes d'habitat, un tiers de l'espace urbain a été auto construit [Chion, 2002]. Lima constitue ainsi, à la fin du XX^{ème} siècle, un bel exemple de ville informelle. Cependant, ce mode de fonctionnement urbain a montré ses limites selon les secteurs : insécurité, disparités et irrégularités d'accès aux services, précarité, manque d'hygiène ... Les directives internationales étaient à la libéralisation dans les années 1990. La ville informelle pouvait alors être considérée comme une émanation économique et politique libérale. Cependant, face aux nombreuses difficultés générées par ces formes urbaines émergentes, les institutions internationales qui orientent les projets de développement et d'aménagement se tournent aujourd'hui vers plus de régulation et de planification.

Cela se traduit au Pérou par une volonté des pouvoirs publics de formaliser ces activités. Dans le secteur du logement, une campagne de titularisation a lieu dans les quartiers auto construits. En 1961, le Pérou est le premier pays à édicter une loi de titularisation de l'habitat illégal [Faliès and Montoya, 2010]. Depuis 1996, une agence de l'État se charge de formaliser l'habitat illégal avec plus ou moins de succès [Michel, 2012]. Cette solution de formalisation n'a pas d'effet sur la précarité des logements ni sur l'intégration des populations. En effet, une telle politique foncière permet à l'État de contourner le besoin de logement et de services des nouveaux citadins [Calderon Cockburn, 2005]. Les évolutions récentes de l'urbanisation à Lima montrent une tendance globale à la densification, que ce soit dans les quartiers informels ou dans les quartiers planifiés. Cette densification a lieu au détriment des espaces publics qui sont bâtis ou fermés. Les structures urbaines qui émergent relèvent donc plus de la fragmentation que de l'intégration [Vega Centano and Lafosse, 2013]. En ce qui concerne l'emploi, le secteur informel est une solution facile pour les primo arrivants issus de l'exode rural depuis le siècle dernier. Le transport fait partie de ces secteurs largement pourvoyeur d'emplois peu qualifiés et souvent journaliers [Soto and Ghibellini, 1994].

2.1.2 Brazzaville la verte

Brazzaville mérite bien son qualificatif coloré. Cette ville est émaillée de jardins et d'espaces arborés.

La République du Congo compte aujourd'hui près de 4 millions d'habitants. Brazzaville concentre plus d'un tiers de la population du pays avec 1,5 millions d'habitants. La capitale politique partage le pouvoir avec la capitale économique, Pointe Noire, qui compte près de 700 000 habitants. La majorité de la population se situe sur l'axe Pointe-Noire / Brazzaville. Ainsi, le Congo a un des taux d'urbanisation les plus élevés d'Afrique alors qu'il y a moins de 1 habitant au kilomètre carré dans le Nord du pays. Ainsi, un numéro de *Politique Africaine* titrait dans les années 1980 *Le Congo : banlieue de Brazzaville* [CREPAO, 1981].

Évolution urbaine de Brazzaville

Brazzaville a été fondée en 1880 par Pierre Savorgnan de Brazza sur ordre du Comité français de l'Association Internationale Africaine. Il semble, contrairement à ce que laissent penser de nombreux textes de l'époque, que ce plateau au bord du fleuve Congo était occupé par la cité N'Couna (ou M'Foa) du chef Makoko de Mbé [Ziavoula, 2005]. Savorgnan de Brazza s'approprie donc ce territoire et pose une base d'exploration et surtout de colonisation. Ce poste avancé est rapidement relié à la côte Atlantique pour assurer son développement, notamment commercial. La seule piste allant de l'Atlantique à la rive droite du fleuve Congo passe alors par Brazzaville. Elle devient un centre pour tous les échanges de l'Afrique Équatoriale Française, dont elle devient la capitale en 1903. La ville est donc planifiée par les colons français qui y concentrent toutes leurs administrations. La ville coloniale était à l'origine un lieu de pouvoir, de répression et d'asservissement, et cette image perdure dans la mémoire collective [Coquery-Vidrovitch, 1993]. Cependant, Brazzaville était aussi le lieu de la contestation. Les villages du pourtour de la ville étaient habités par des autochtones dissidents, qui refusaient d'adopter les modes de vie imposés par l'administration coloniale. Ces zones, devenues des quartiers de l'actuelle agglomération, abritaient des nomades, d'anciens esclaves et des paysans [Balandier, 1955].

Dans les années 1910, le centre-ville est structuré autour des activités administratives et commerciales et réservé aux colons, les grandes avenues sont tracées. Dans le même temps, les périphéries sont rebaptisées les "Brazzaville noires". Elles sont structurées en parcelles destinées aux familles expulsées du centre-ville. Les quartiers de Bacongo et de Poto-Poto sont les premiers à être aménagés [Balandier, 1955].

La construction de la voie ferrée entre Brazzaville et Pointe Noire entre 1920 et 1934 renforce la position centrale de la capitale. Résultant d'une politique de "mise en valeur des colonies françaises" mise en place par le ministre des colonies de l'époque [Sarraut, 1923], ce chantier va transformer Brazzaville et son rôle dans la région. L'objectif affiché était de

Carte de situation avec référence aux lieux cités

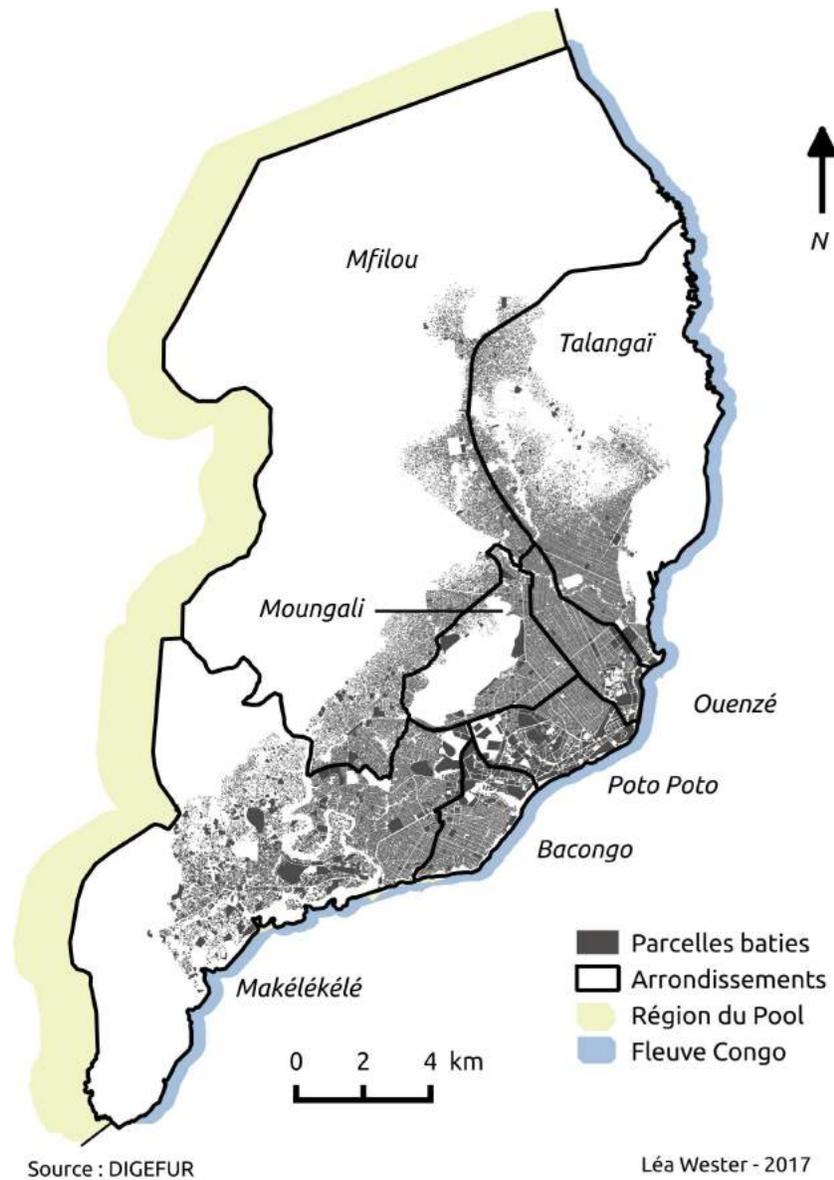


FIGURE 2.11 – Bâti et toponymie de Brazzaville

mettre en valeur le pays pour justifier "notre occupation et notre tutelle" [Sarraut, 1923]. En réalité, il s'agit surtout d'exporter plus facilement des matières premières. Plusieurs centaines de travailleurs arrivent à Brazzaville et s'installent dans les quartiers périphériques. À la fin de la construction, la ville devient un centre de tri pour toutes les marchandises qui arrivent et repartent en pirogue sur le fleuve. Les matières premières issues de l'exploitation des ressources locales transitent vers l'Europe sans avoir besoin de faire appel aux voisins belges qui occupent la rive gauche du fleuve Congo. Cette position centrale est encore appuyée par le statut de capitale de la France Libre donné à Brazzaville par le général de Gaulle entre 1940 et 1943. Ainsi entre 1900 et 1954, Brazzaville passe de 5000 à 86 000 habitants.

Le Congo acquiert son indépendance en 1960, mais la période coloniale a une influence importante sur la situation actuelle. La bicéphalie urbaine perdure. Pointe Noire affirme son statut de capitale économique et Brazzaville reste la capitale politique. En tant que plus importante agglomération du pays et destinataire d'un grand nombre de politiques publiques, Brazzaville révèle bien les tensions et les questionnements qui secouent le pays. D'autant plus que près d'un Congolais sur trois est brazzavillois.

Problématiques actuelles

Les questions politiques vives au Congo reposent sur des tensions entre les groupes originaires du Sud et ceux du Nord du pays. Les différentes vagues d'arrivée à la capitale ont créé des regroupements en fonction de la région et de l'ethnie d'origine. Ainsi, le Nord et le Sud de Brazzaville, mais aussi les différents quartiers sont des lieux de résidence marqués [Dorier-Apprill and Domingo, 2004]. La généralisation de la scolarisation n'a pas eu raison des confrontations identitaires, renforcées par la guerre civile des années 1990. À partir de 1993, les contestations des résultats de toutes les élections ont entraîné des conflits armés répétés. Les présidents successifs, Pascal Lissouba et Denis Sassou N'Guesso se disputent la victoire, jusqu'à la prise de pouvoir définitive de l'actuel chef de l'État Denis Sassou N'Guesso en 2002. Ces troubles politiques ont eu un impact important sur la société congolaise. Les mouvements politiques de l'époque instrumentalisaient systématiquement l'ethnicité et les différentes milices revendiquaient leurs origines et celles de leurs leaders [Soni-Benga, 1998]. Les ressorts de la mobilisation restent les mêmes aujourd'hui. Les tensions ne sont pas résorbées à Brazzaville par une structure urbaine qui reste ethniquement fragmentée. Les enjeux de la construction démocratique se heurtent à cette manipulation récurrente des masses qui sert le pouvoir en place [Yengo, 2006].

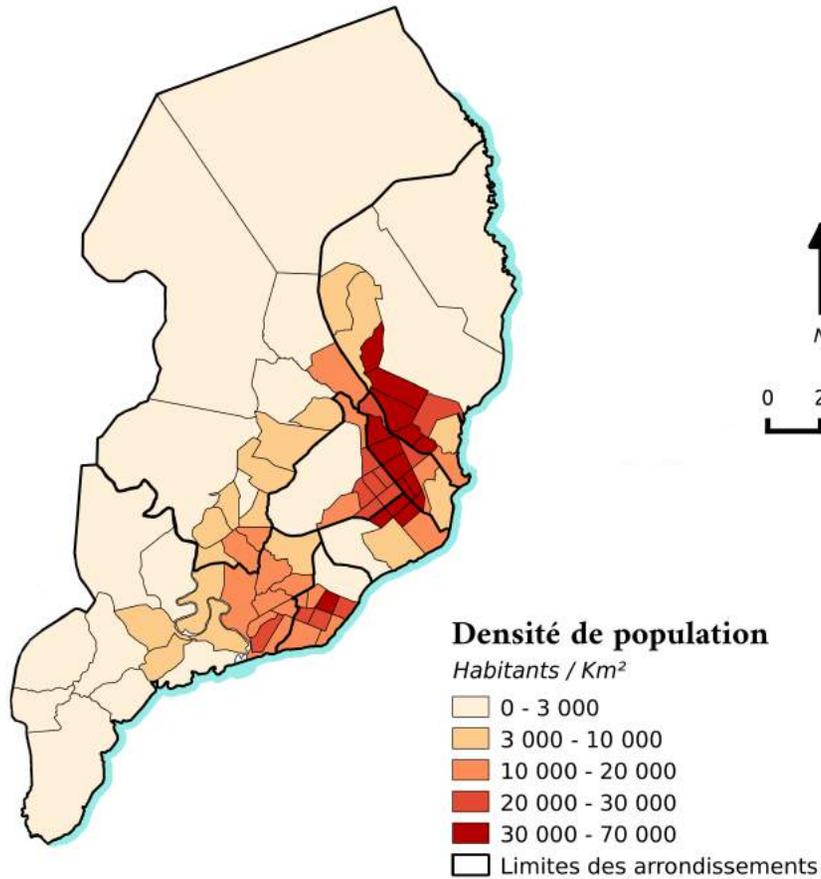
L'État au Congo est un objet complexe et paradoxal. En tant qu'héritage de la colonisation, il apparaît comme déconnecté de la société civile. Dans un contexte de luttes politico-ethniques, il sert d'outil à des intérêts clientélistes [Dubresson and Raison, 1998]. Le pouvoir politique est d'autant plus délégitimé qu'il ne parvient pas à structurer des services publics essentiels. Bien que Denis Sassou N'Gusso se revendiquait du maxisme à l'origine, sa politique économique est libérale actuellement. D'autre part, la politique des institutions internationales dans les années 1980, autour du développement local des territoires et de la décentralisation étatique et urbaine, a eu pour effet de déconstruire le pays au profit des régions ethniques [Ziavoula, 2005].

Dans ce contexte, Brazzaville est le marqueur des évolutions du pays, autant sur les plans politiques et sociaux qu'économiques. La reconstruction de la ville depuis le début des années 2000 repose sur plusieurs types d'acteurs. D'un côté, les ONG se présentent comme intermédiaires avec les bailleurs de fonds pour la population locale, mais elles se proclament également représentantes des intérêts des citoyens. Cette double casquette amoindrit la pertinence et la portée des actions. D'autre part, l'État pare au plus pressé en se concentrant sur son image. Les quartiers centraux sont rapidement repeints, mais les Brazzavilles noires sont laissées à l'abandon. Dans ce contexte, les solidarités locales et familiales prennent le dessus [Ziavoula, 2006]. Au cours de cette reconstruction, la période coloniale continue d'influencer la structure de la ville actuelle. Une fragmentation s'observe encore aujourd'hui à travers la séparation des fonctions urbaines, les clivages ethniques et la séparation des catégories socio-économiques [Ziavoula, 2005]. Le centre-ville concentre la majorité des infrastructures et des activités : centres commerciaux et marchés, voies goudronnées, gare, hôpitaux, ambassades, sièges d'entreprises, banques et ONG ... Les périphéries quant à elles ont conservé des fonctions plutôt résidentielles et leur structure quadrillée [Frérot, 1999]. Les cartes de densité de population et de répartition des rues goudronnées semblent construites en creux l'une de l'autre (Figure 2.12). Le centre est bien visible du fait de sa densité moins importante d'un côté, et de la concentration de rues goudronnées d'un autre côté. Brazzaville a une structure spatiale particulière : la population est plus nombreuse en périphérie, les infrastructures sont plus nombreuses dans le centre.

"Brazzaville est une ville informelle [...] le territoire de lutte entre l'ordre et le désordre organisé" [Ziavoula, 2005]. En effet, la construction urbaine relève plus de la société civile et des acteurs privés que des acteurs institutionnels. Les plans d'aménagement successifs n'ont pas réussi à changer cette situation. Depuis les années 1980, des plans de développement urbains ont été mis en place afin d'encadrer l'expansion de l'agglomération. Mais cette réglementation est inadaptée aux réalités sociales et ne permet pas aux communes de disposer

Densité de population de Brazzaville

Recensement par quartiers



Sources : DIGEFUR, RGPH 2007

Routes goudronnées à Brazzaville



Léa Wester - 2017

FIGURE 2.12 – Éléments de structure urbaine à Brazzaville

de suffisamment de ressources pour concrétiser leurs projets d'aménagement. Cette question financière met en exergue le conflit d'autorité entre le pouvoir de l'État et les collectivités locales. Dans ce pays à l'économie de rente fondée sur l'extraction minière et pétrolière, la répartition des richesses et l'organisation de la fiscalité ne permettent pas des investissements de développement suffisants. De même que pour les transferts financiers, les transferts d'autorité et de compétences de l'État vers le niveau local n'ont pas lieu. L'État devient donc le seul pourvoyeur de projets et d'autorité, les collectivités locales ont un pouvoir moindre. Ainsi, la commune d'origine du président actuel, Dolisie, est une des seules à être reliée à la capitale par une route goudronnée. Cette petite ville de quelques milliers d'habitants dispose également d'une mairie neuve et d'un tout récent éclairage public. Cette situation d'inégale redistribution est également visible à Brazzaville où le centre est beaucoup mieux équipé. L'absence de pouvoir et de moyens des collectivités est d'autant plus visible dans la capitale du fait de son importance dans la vie politique nationale. Les plans d'aménagement sont l'œuvre de l'État et la Mairie centrale comme les Mairies d'arrondissement sont bloquées dans leurs initiatives. Ces représentations locales du pouvoir sont pourtant plus au fait des problématiques de leur arrondissement et des solutions à mettre en place[Dorier-Apprill et al., 1998].

Dans ce contexte, la société civile est porteuse de nombreuses initiatives hors de la législation. Une grande partie de la production urbaine et de la vie quotidienne repose sur le secteur informel. La construction de logements, les fournitures en eau et en électricité, les commerces divers ... échappent en totalité ou en partie au contrôle des autorités. Les transports en commun font partie de ces services qui émanent de la société civile. La dernière entreprise de transport public, la Société des Transports Brazzavillois, a fermé ses portes en 1988. Depuis lors, ce sont les *fulas fulas*, présents dès les années 1920, qui opèrent exclusivement le service de transport. *Fula* vient du verbe *Kofula* qui signifie "accélérer", "aller vite". Ces transports sont connus pour constituer une source d'emplois faciles d'accès pour les jeunes brazzavillois.

2.2 Acteurs et agents du transport artisanal : deux modes de fonctionnement différents

Le carnet de voyage radiophonique de France Culture consacré à Lima s'ouvre sur des considérations météorologiques et il ne faut pas attendre plus d'une minute et demie pour que les *combis* entrent en scène¹. Ces minibus comptent presque autant dans les représentations de la ville que le voile blanc qui recouvre le ciel en permanence. La littérature consacrée à

1. Émission Villes-Mondes par Catherine Liber du 29/05/2016 : "Lima, la plus étrange et la plus triste cité..."

Brazzaville est moins abondante et moins célèbre. Les minibus *hiace* ont malgré tout autant d'importance dans l'imaginaire collectif urbain qu'à Lima.

Les transports artisanaux de ces deux villes peuplent les rues de leurs bruits et de leurs odeurs. Les équipages sont composés d'un chauffeur et d'un assistant qui a le rôle de la relation client : il oriente les usagers, leur indique où s'asseoir et encaisse les paiements. Appelés *cobrador* à Lima et *contrôleur* à Brazzaville, ces jeunes hommes sont des figures emblématiques. Ils crient pour attirer le client et restent accrochés à la portière du véhicule d'où ils montent et descendent en marche. Les *coradores* tapent sur la carrosserie du véhicule de façon continue en répétant *sube sube*² pour signifier au chauffeur que des usagers sont en train de monter ou descendre. Les *contrôleurs* brazzavillois toquent deux fois, comme on le ferait à une porte, pour autoriser le départ. Dans les deux cas, ils tapent une fois sur le plafond du bus pour demander l'arrêt après s'être enquis des destinations des passagers. Les codes et les pratiques des transports artisanaux sont connus de tous et font partie du rythme urbain à Lima comme à Brazzaville. L'importance culturelle de cet ensemble hétéroclite de véhicules est également observée dans d'autres villes du monde où le transport artisanal devient une fierté locale [Grignon, 1997] [Graeff, 2009].

2.2.1 Organisation des transports artisanaux à Lima

Une construction progressive

L'histoire des transports en commun à Lima débute au XX^{ème} siècle avec la mise en place du tramway reliant le centre historique aux stations balnéaires de Miraflores et Barranco. Le tramway est arrêté en 1965 et l'État tente de mettre en place des entreprises publiques d'autobus. La première chose à souligner c'est que le transport collectif à Lima a été, depuis toujours, entre les mains du secteur privé [Bielich, 2011].

En réalité, il faut nuancer ce point de vue. Malgré la relative inefficacité des tentatives mises en place par l'État, il existe un certain nombre d'exemples d'entreprises qu'on peut qualifier de publiques. Ces entreprises sont en concurrence depuis les années 1920 avec des entreprises de transport privées, qui proposent le même service, et avec des transports artisanaux. Les entreprises publiques sont sous la responsabilité de la Municipalité Métropolitaine de Lima à partir de 1964 avec création de l'*Administradora Paramunicipal de Transportes de Lima* (APTL). Cette responsabilité passe à l'État en 1976 avec l'*Empresa Nacional de Transporte Urbano* (ENATRU) qui s'occupe de tous les transports urbains dans les villes du pays. En

2. "monte monte"

parallèle, des entreprises privées proposent le même service en respectant la législation en vigueur et en s'acquittant de différentes taxes. À celles-ci s'ajoutent, dans les années 1930, des transports informels caractérisés par des véhicules plus petits et par leur non-respect des critères définis par la loi.

La domination progressive du secteur par les transports artisanaux durant la seconde moitié du XX^{ème} siècle se déroule en trois étapes : l'invasion de l'itinéraire par des véhicules informels, la constitution d'un groupe d'exploitants, appelé "comité" et composé principalement de propriétaires-chauffeurs de véhicules, pour négocier avec les autorités et l'obtention d'un droit d'appropriation de l'itinéraire. Les comités sont en compétition pour faire reconnaître la ligne qu'ils ont choisie d'emprunter. Divers moyens de pression sont utilisés : pétitions signées par les usagers, corruption ... [Soto and Ghibellini, 1994].

Dans les années 1970, Lima est dans une situation de demande trop importante par rapport à l'offre de transport en commun. Rappelons que l'offre de transport en commun regroupe les entreprises formelles publiques ou privées et les transporteurs artisanaux. À cette période, ces derniers s'organisent en coopératives et opèrent sur des lignes concédées. Il s'agit d'un processus de formalisation. Dans les années 1980, ce transport artisanal peu à peu formalisé permet la mobilité de 80% des Liméniens avec 90% de la flotte en circulation. Le reste de la flotte est répartie entre les entreprises institutionnalisées privées et publiques [Sánchez León et al., 1978].

Dans cette période, les services de transport institutionnels, publics et privés, ferment les uns après les autres. La première d'une longue série est la *Compania de Transporte del Sur* qui dépose le bilan en 1959. En 1981, ENATRU est privatisée, mais elle n'est pas rentable et finit par fermer.

Ce processus se conclut par le désengagement total de l'État en 1991 avec le décret législatif 651. Il autorise quiconque disposant d'un véhicule de plus de trois roues et d'un permis de conduire à proposer un service de transport en commun sans aucune restriction d'itinéraires ou d'horaires. Les transports "informels" deviennent donc la norme et on ne peut plus parler de différence entre formalité et informalité dans ce domaine. L'autorité centrale n'est plus impliquée et aucune législation complémentaire ne régle le service. Ce décret fait table rase des modes de fonctionnement que nous venons d'évoquer. Il s'agit d'une libéralisation totale du transport en commun. Cette libéralisation prend part à un mouvement général, dans le sillage des plans d'ajustements structurels promus par la Banque Mondiale. Cela entraîne une crise des transports en commun en Amérique Latine [Figuerola, 1991].

Dans le contexte de la libéralisation économique de l'Amérique Latine, sous le gouvernement d'Alberto Fujimori au Pérou, ce décret va de pair avec la mise en place de centres

d'importation, transformation et commercialisation de véhicules. Ces zones franches permettent l'arrivée de véhicules, souvent déjà anciens, venus d'Asie. En parallèle, l'objectif est de freiner l'augmentation du chômage en permettant l'apparition d'emplois faciles d'accès. Les véhicules de transport en commun se multiplient : taxis, combis, microbus, omnibus et mototaxis envahissent les rues péruviennes. La situation du marché s'inverse et l'offre devient largement supérieure à la demande ce qui attise la concurrence entre les différents prestataires [Quispe Conejo, 2007].

Variété des transports artisanaux de Lima



FIGURE 2.13 – Les véhicules de transport en commun à Lima

Ce décret est ensuite nuancé au niveau municipal avec la publication de l'ordonnance 104 en 1997 qui met en place le système des "concessions". En réalité, il s'agit d'une sorte de taxation de cette activité économique et d'un retour au fonctionnement par comités qui finissaient par obtenir des concessions d'itinéraires avant 1991. Ainsi les propriétaires de véhicules doivent déclarer l'itinéraire de la ligne sur laquelle circulent leurs véhicules. Un échelon intermédiaire se crée donc entre les propriétaires de véhicule et l'administration. Le terme utilisé en espagnol est celui d'*empresa*, qu'on devrait logiquement traduire par entreprise, mais ce nouvel échelon ne correspond pas à la définition d'une entreprise. L'*empresa* de

transports en commun à Lima se contente de posséder le droit de circulation sur un itinéraire et de facturer l'accès à des artisans. Le terme de concessionnaire convient donc mieux à cet objet.

Les équipages de véhicules se trouvent donc pris entre plusieurs autres acteurs du système de transport. Ils doivent payer la location du véhicule au propriétaire et leur droit de circulation aux concessionnaires, tout en respectant la législation concernant les véhicules : assurance, carte grise ...

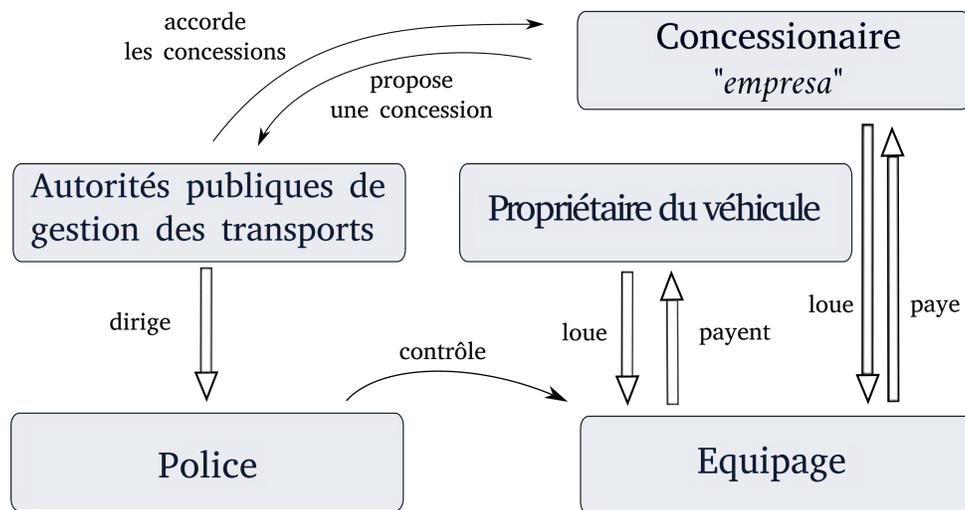


FIGURE 2.14 – Relation entre les différents acteurs du transport collectif à Lima

La situation des transports collectifs à Lima n'a que peu changé entre 1997 et 2013. Les données que nous utilisons sur les transports en commun à Lima datent de 2007 et de 2012. En 2013, un système de Bus Rapid Transit a été mis en place. Il s'agit de la première étape d'un système intégré global qui devrait couvrir la totalité de l'agglomération. Il n'a cependant pas fait disparaître le transport artisanal à ce jour [Marchand, 2017]. Nous nous concentrons sur les transports artisanaux, leur fonctionnement et leur structure spatiale. Leur relation avec les BRT pourrait constituer un projet de recherche à part entière. La question de l'intégration à la fois sociale, politique et économique du transport artisanal dans un système plus large a été traitée dans d'autres cas, notamment dans d'autres pays d'Amérique Latine et en Afrique [Lomme, 2004] [Salazar Ferro and Behrens, 2013] [Kamden, 2014] [Salazar Ferro, 2015].

Au niveau des équipages : entre contraintes et stratégies

Dans ce contexte, les équipages de véhicule développent des stratégies. En effet, ils sont redevables de manière journalière de la location du véhicule et du droit de circulation. L'augmentation de la concurrence oblige les équipages à s'adapter. Ils ne peuvent pas vraiment se détourner de l'itinéraire qui correspond à leur droit de circulation. Pour comprendre comment se construisent ses stratégies, nous avons mis en place une enquête à Lima. Celle-ci s'est déroulée en plusieurs phases. La première a été constituée de journées d'observations dans les transports collectifs. Grâce à des prises de contact individualisées, nous avons pu accompagner plusieurs équipages pour une journée de travail complète. À la suite de cette première phase, un guide d'entretien semi-directif a été élaboré et testé. Nous avons ensuite passé plusieurs semaines à interviewer des équipages de véhicules. Au fil des entretiens, nous nous sommes rendu compte que les chauffeurs étaient accessibles hors des heures de pointe et qu'il était possible de mener un entretien pendant leur service. Pour les *cobradores*, nous avons privilégié les embouteillages et les temps d'attente en bouts de lignes. 40 personnes ont été interrogées au cours de cette enquête en 2012³.

Les personnes interrogées nous ont donné des informations concernant leur pratique quotidienne. Les thèmes qui sont ressortis pendant les entretiens sont :

- la précarité du mode de vie (horaires de travail, stress ...)
- les arrangements économiques entre les différents membres de l'équipage et le propriétaire
- les stratégies à mettre en place pour s'en sortir
- l'utilisation des *dateros*⁴

Ces entretiens nous ont montré la multiplicité des situations : certains équipages payent un montant fixe au propriétaire de véhicule et d'autre une part en fonction de la recette. Ils se partagent ensuite le reste selon des modalités variables. De manière générale, le chauffeur récupère entre 60 et 80 % de la recette, le reste va au crieur. Beaucoup des équipages que nous avons rencontrés travaillent près de 12 heures par jour. Ils font face à des situations de

3. Nous avons privilégié les entretiens en tête à tête afin de limiter l'influence hiérarchique que peut avoir le chauffeur sur le crieur. Mais nous nous sommes rapidement rendu compte que c'est le chauffeur qui est au cœur du système. Nous avons interrogé seulement 10 crieurs pour 30 chauffeurs. Les entretiens ont fait l'objet d'une retranscription à partir de prise de notes et d'enregistrements. Cependant, la piètre qualité de ces derniers liée à l'ambiance sonore d'un bus ne nous a pas permis de faire une retranscription complète mot pour mot. Les enregistrements ont été utilisés pour vérifier ou éclaircir certains points issus de la prise de note et s'assurer de l'exactitude des phrases relevées. L'ensemble des entretiens ont eu lieu en espagnol et la traduction a été effectuée par nos soins.

4. Le terme peut être traduit par "collecteur de données" ou "preneur de notes", nous avons préféré "informateur". Ces personnes se placent dans la rue et fournissent des informations aux chauffeurs.

stress liées à la double contrainte de la circulation parfois difficile et de la nécessité d'arriver rapidement à destination pour embarquer d'autres usagers.

En termes de stratégies, les mêmes ressorts sont utilisés par tous. C'est sur ce volet du travail des équipages que repose concrètement le service de transport. Tout d'abord, ces stratégies reposent majoritairement sur le chauffeur. En effet, lorsqu'un chauffeur prend une décision concernant sa conduite, il conditionne la rentabilité de son trajet et l'arrivée à destination de ses passagers. Le crieur se contente d'attirer les passagers et d'encaisser leur paiement. À l'avant du véhicule, le chauffeur a un tout autre métier que celui qu'on pourrait imaginer. Comme l'illustrent ces extraits d'entretiens, le quotidien des chauffeurs est complexe. Ils sont pleinement conscients de l'importance de leurs stratégies :

El trabajo de chofer es dificil porque tienes que conducir y ser estrategico tambien (Chauffeur - Lima (Panaméricaine Sud) - 2012) : "Le métier de chauffeur est difficile parce qu'il faut conduire et être aussi stratège".

Les 507 kilomètres parcourus en bus en faisant ces entretiens ont permis d'observer la mise en place de ces stratégies et de les questionner (Figure 2.15). Nous avons notamment passé une journée complète avec un équipage entre l'extrémité de Lima-Est et Callao. Au cours de cette journée, le chauffeur m'a donné un certain nombre d'informations concernant les stratégies.

Les stratégies développées par les chauffeurs reposent sur un jeu de ralentissements / accélérations :

Mira, ahora paro hasta que este se vaya (Chauffeur - Lima (Manchay) - 2012) : "Regarde, là je m'arrête pour laisser partir celui-là" [le bus devant nous].

A veces, le corro al bus y me paro. Asi se va mas rapido. (Chauffeur - Lima (Manchay) - 2012) : "Des fois, je fais la course avec le bus de devant et ensuite je m'arrête. Comme ça, il s'éloigne plus vite."

Ce jeu est appelé *correteo*, à traduire littéralement par "la course". Il donne souvent lieu à des excès de vitesse dans les rues, les chauffeurs tentent de se doubler les uns les autres pour arriver le premier à l'arrêt de bus suivant. J'ai également pu observer que les chauffeurs n'hésitent pas à sauter un arrêt lorsque plusieurs bus s'y trouvent afin d'être le premier aux arrêts suivants. Inversement, malgré l'absence d'horaires de passage définis, un véhicule peut



FIGURE 2.15 – Carte des zones enquêtées en 2012

attendre plusieurs minutes à un arrêt de bus pour laisser le temps d'arriver à de nouveaux passagers ou laisser s'éloigner le bus précédent (Figure 2.16).

Ainsi, la stratégie de conduite des chauffeurs repose principalement sur l'adaptation de sa vitesse de circulation. Il ajuste en permanence ses temps d'attentes et d'accélération pour remplir au mieux son véhicule. Dans cet exercice difficile, le chauffeur de bus utilise des *dateros*, traduit par informateurs. Nous avons déjà remarqué la présence de personnes munies de blocs-notes dans la rue. Ils semblaient attendre et consigner des informations sur la circulation. Nous les avons interrogés et il s'est avéré qu'ils s'intéressent particulièrement aux bus. Ces informateurs notent les heures précises de passage des bus. Ils vendent ensuite cette information aux chauffeurs. Lorsqu'on interroge les chauffeurs sur le rôle de ces informateurs, il devient rapidement évident qu'ils jouent un rôle clé dans le bon fonctionnement du service :

Ayudan el chofer para conducir (Chauffeur - Lima (Evitamiento) - 2012) :

"Ils aident le chauffeur à conduire."

Photographies d'actions stratégiques de chauffeurs



Bus qui attend malgré la circulation fluide, et le feu vert



Course entre deux bus

Photographies : Léa Wester - 2012

FIGURE 2.16 – Exemples photographiques des stratégies

Los dateros estan donde saben que los buses se paràn (Chauffeur - Lima (Evitamiento - 2012) : "Les informateurs se mettent là où ils sont sûrs que les bus s'arrêtent."

Les uso cuando no veo el bus adelante (Chauffeur - San Juan de Lurigancho - 2012) : "Je les utilise quand je ne vois pas le bus qui précède".

Los dateros no son utiles en està ruta (Chauffeur - Lima (Carabayllo) - 2012) : "Sur cette route, il n'y a pas d'informateurs utiles."

Concrètement, les informateurs sont utilisés quand la question de la distance entre un bus et celui qui précède se pose. Autrement dit, ils sont utiles dans les zones de forte concurrence. Les chauffeurs de bus peuvent choisir d'accélérer pour dépasser ou rattraper un bus proche, ils peuvent également choisir d'attendre un peu pour le laisser partir. Ils font ce choix en fonction de ce que leur communique l'informateur.

2.2.2 Organisation des transports artisanaux à Brazzaville

Un contexte institutionnel flottant pour des transports stables et diversifiés

Les transports en commun à Brazzaville reposent sur un système artisanal. Celui-ci est présent depuis le début du XX^{ème} siècle et cohabite périodiquement avec des transports institu-

Photographies du travail d'un informateur



Prise de notes au passage des bus



Vente de l'information à l'équipage du véhicule

Photographies : Léa Wester - Lima - 2012

FIGURE 2.17 – Un informateur au travail

Les transports artisanaux à Brazzaville



Minibus / Hiace



Bus / Coaster



Taxi collectif / 100-100

Photographies : Léa Wester - Brazzaville - 2014

FIGURE 2.18 – Les véhicules de transport en commun à Brazzaville

tionnels. Le travail de Xavier Godard à Brazzaville dans les années 1980 montrait l'importance économique et sociale de ces transports. Ils sont à la fois en concurrence et en complémentarité avec les transports publics, qui ont fini par disparaître. Il mentionnait déjà l'existence des 3 éléments du système de transport collectif [Godard, 1985]. Les trois photographies de la Figure 2.18 représentent chacun de ces éléments.

- Les taxis collectifs sont appelés aussi 100-100 en raison du prix de la course fixé à 100 FCFA. Il s'agit de vieux modèles de berlines de marque Toyota. Ces modèles portent chacun un surnom inspiré d'un événement marquant de l'année de leur fabrication. Ainsi, vous pouvez avoir la chance de voyager dans un Jean Paul II, modèle de 2005, ou un Jacques Chirac de 1995. De manière générale, les 100-100 sont des véhicules âgés et en mauvais état. Ils parcourent des itinéraires circulaires à l'échelle d'un quartier. Cette

emprise restreinte est liée à plusieurs facteurs. L'état des véhicules ne leur permet pas de proposer un service trop long. D'autre part, ils ne disposent pas toujours du contrôle technique ou d'autres papiers nécessaires en cas de contrôle de police. Ils restent donc cantonnés à leur quartier et roulent lentement. De manière générale, ils sont plutôt utilisés pour de petits trajets qui pourraient être effectués à pied. Ils s'arrêtent dès qu'un client les interpelle, sans réellement s'interroger sur l'espace disponible à l'intérieur, ce qui donne lieu à des empilements parfois rocambolesques.

- Les minibus portent le nom du modèle de Toyota qui constitue la majorité des véhicules : le *hiace*⁵. Ces minibus d'une quinzaine de places sillonnent la totalité de l'agglomération. L'avantage de ce modèle est qu'il permet de circuler sur des routes en mauvais état tout en transportant un nombre de personnes assez important. Ils représentent la majorité des véhicules de transport collectif. L'équipage du hiace, comme celui du bus de grande taille, comporte un crieur et un chauffeur, contrairement au 100-100 qui n'a qu'un chauffeur.
- Les bus, appelés aussi "coaster", sont des véhicules de plus grande taille pouvant transporter une quarantaine de personnes. De marque Toyota, ils portent également le nom du modèle. Leur gabarit ne leur permet pas de circuler sur les routes non goudronnées. Ils sont donc cantonnés aux parties les mieux entretenues de la ville. Leurs itinéraires sont également circulaires : ils forment une boucle autour de la partie centrale de l'agglomération.

Ces trois éléments sont complémentaires et forment un système de transport qui dessert plusieurs échelles dans l'agglomération [Perez, 2009] [Perez, 2010] [Audard et al., 2012]. Cependant, cette organisation échappe à toute tentative de contrôle centralisé [Landa, 2014].

Depuis la fermeture de la dernière entreprise publique de transport en commun, les relations entre les autorités publiques et les différents acteurs du transport collectif sont complexes et tendues. En effet, les conflits d'autorité entre les différentes échelles administratives se traduisent également dans le secteur du transport [Ziavoula, 2005]. Ainsi, les équipages de véhicule sont aux prises avec plusieurs interlocuteurs. Comme dans le cas de Lima, ils doivent

5. Les marques asiatiques ont remplacé les marques européennes sur ce marché de l'occasion florissant sur le continent africain, mais aux conséquences environnementales importantes [Kablan, 2010] [Tastevin, 2012]. Pour Brazzaville précisément, les observations de X. Godard dans les années 1980 montrent que les autobus exploités étaient de la marque espagnole PEGASO pour les transports formels, mais nous n'avons pas d'information sur la marque des transports informels [Godard, 1985].

louer leur véhicule à un propriétaire. Ils doivent également payer de nombreuses taxes aux pouvoirs publics. Les autorités municipales demandent le paiement d'une taxe de circulation et stationnement, d'une autorisation d'exercer une activité, d'un droit de peinture et de numérotation du véhicule. Les autorités nationales demandent l'immatriculation du véhicule, le paiement de taxes pour diffuser de la musique, l'autorisation de transporter des usagers, un contrôle technique et des cotisations sociales [Landa, 2014].

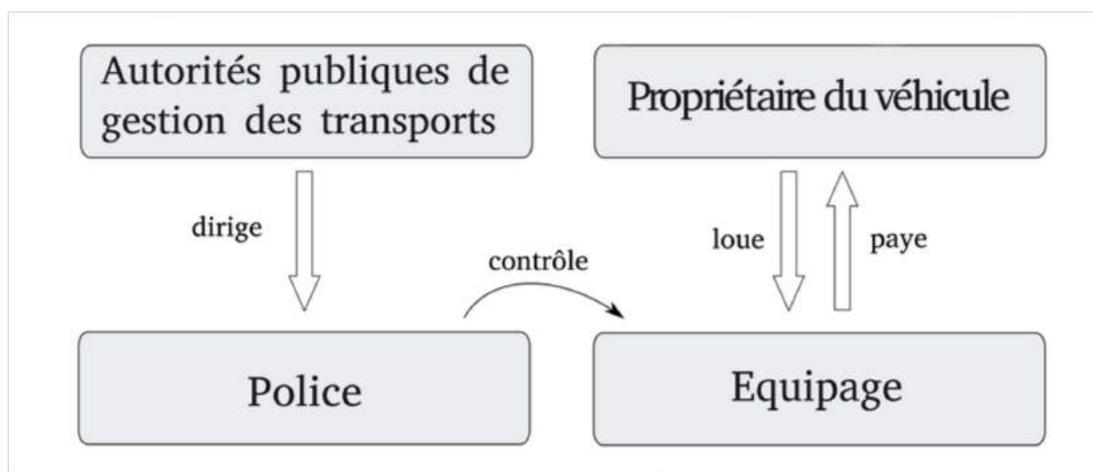


FIGURE 2.19 – Relations entre les différents acteurs du système de transport

Cet ensemble de charges exerce une certaine pression sur les équipages des véhicules. Cette pression est d'ordre économique et administratif : aucune règle ne parvient à contraindre l'organisation concrète de la desserte (itinéraires, arrêts, horaires ...). En réalité, les équipages de véhicules sont libres dans l'opération du service. Leurs itinéraires et leurs horaires ne sont pas réglementés. La mairie a tenté de mettre en place des lignes définies qui doivent être affichées sur les véhicules en circulation. Celles-ci sont définies par l'arrêté municipal numéro 172, du 24 août 2006. Théoriquement, ces lignes sont contraignantes. Mais, les chauffeurs se procurent plusieurs affichettes et les intervertissent lorsqu'ils changent d'itinéraire (Figure 2.20). Ils n'ont pas d'obligation d'aller jusqu'au bout de la ligne annoncée. L'affichage n'est donc d'aucune utilité.

Les contrôles de police portent principalement sur les papiers du véhicule et le respect du Code de la route. Les équipages des véhicules sont donc libres de circuler comme bon leur semble. Il s'agit pour eux de parvenir à payer leurs charges et leurs salaires en mettant à profit la liberté dont ils disposent dans la construction de leurs itinéraires.



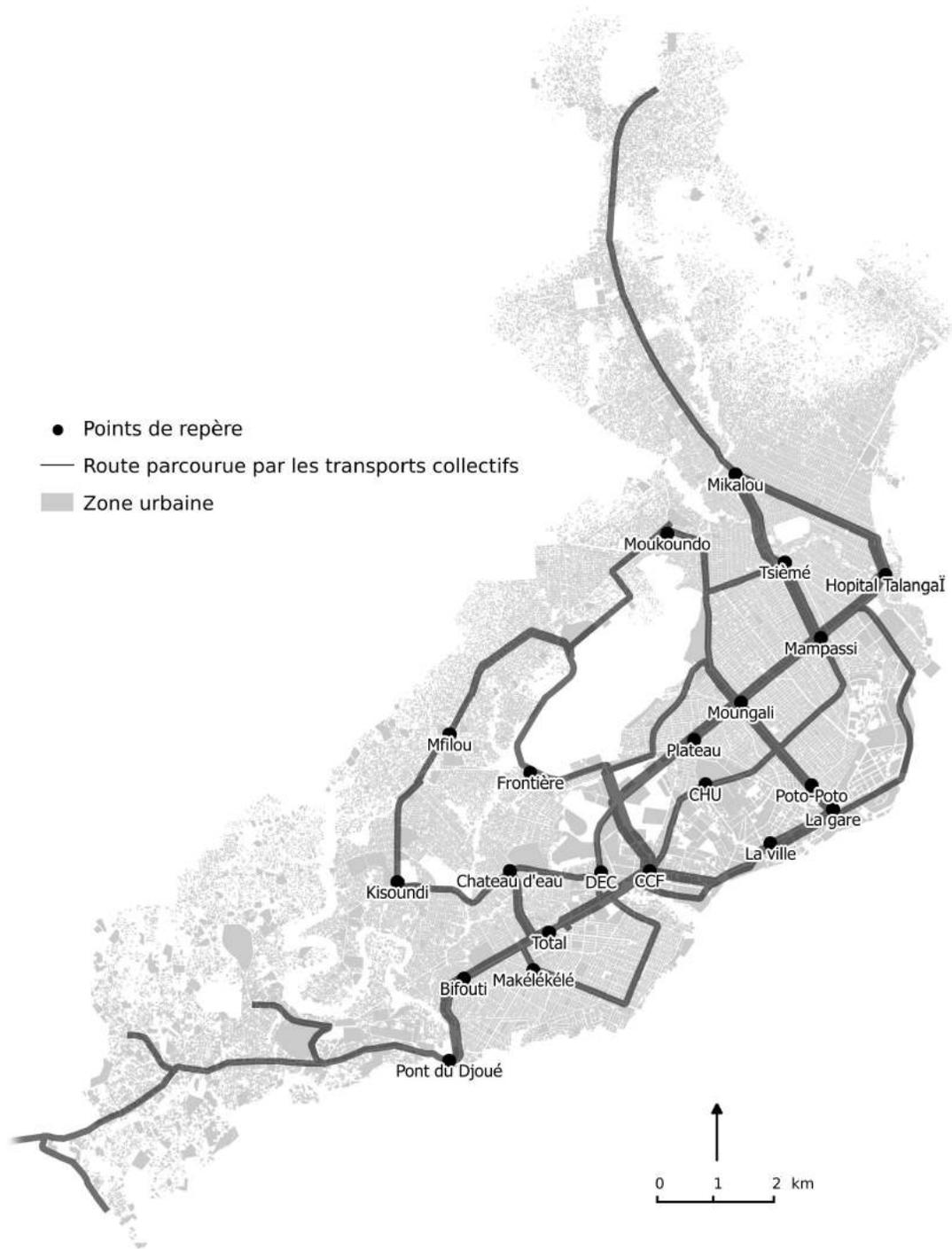
FIGURE 2.20 – Collection d’affichettes dans un minibus

Stratégies des équipages : adaptation et réactivité

Afin de comprendre quelles sont les stratégies développées par les équipages des véhicules, nous avons effectué une enquête et plusieurs semaines d’observation à Brazzaville. L’agglomération étant beaucoup moins étendue qu’à Lima, nous n’avons pas eu besoin de produire une carte de la zone enquêtée. Toutes les rues desservies par des transports collectifs ont été parcourues (Voir carte Figure 2.21).

Nous avons interrogé dans un premier temps un certain nombre de membres d’équipage des différents types de véhicules. Mais les 100-100 et les grands bus restent cantonnés sur leurs itinéraires circulaires⁶ et ne développent pas de stratégie particulière. Nous nous sommes donc concentrée dans la suite de notre travail sur les équipages de minibus. Nous avons interviewé 40 chauffeurs et crieurs. La démarche d’enquête a été la même qu’à Lima, nous avons commencé par passer plusieurs journées dans les transports pour prendre des contacts. Dans un second temps, nous avons passé des journées de travail entières avec un équipage. Puis nous avons élaboré, testé et fait passer une série d’entretiens semi-directifs pendant plusieurs semaines. Les chauffeurs sont plus faciles d’accès que les crieurs puisqu’il y a des places pour les passagers à l’avant. Le crieur doit être approché durant les temps morts de son service. L’entretien dans un *hiace* plein de passagers est difficile : de nombreux usagers tendent l’oreille et participent à la discussion. Le meilleur moment pour effectuer l’entretien

6. Les 100-100 font le tour d’un quartier et les grands bus circulent autour du centre de l’agglomération.



Source : Enquête 2014 - DIGEFUR

Léa Wester - 2017 - QGIS

FIGURE 2.21 – Carte des rues desservies par les transports en commun

est donc le temps de chargement du véhicule à un terminus. Les heures creuses sont les plus propices à ces échanges puisque le véhicule se remplit moins vite.

Les thèmes qui ressortent de ces entretiens sont légèrement différents de ceux des équipages liméniens. Les principales récurrences concernent :

- La pénibilité du métier, notamment en raison des embouteillages
- Les stratégies construites au cours de la desserte
- L'équilibre entre chauffeur et crieur

Les extraits d'entretiens qui suivent nous donnent un aperçu des solutions développées par les équipages. Dans le cas présent, les décisions sont prises par le crieur. Il est au contact de la demande, c'est donc lui qui oriente le véhicule en fonction de ses observations. Le chauffeur se contente de suivre les itinéraires annoncés. Le crieur annonce 3 points de repère qui renseignent à la fois le chauffeur et les usagers. La question de l'équilibre entre le chauffeur et le crieur ne concerne pas ces décisions, mais une autre partie du rôle du crieur : celui de placer les passagers. Dans le partage de la recette entre le crieur et le chauffeur, ce dernier dispose d'une sorte de bonus qui correspond aux tickets des passagers qui s'installent à côté de lui, à l'avant. Ainsi, le crieur doit faire attention à placer des usagers sur ces deux sièges pour que le chauffeur ne se sente pas lésé. Il semble que cet enjeu soit une source de tension au sein des équipages. Ces derniers sont souvent habitués à travailler ensemble. Les équipes changent peu et il n'est pas rare de constater un lien de parenté entre chauffeur et crieur. Le fait que le crieur soit le seul à encaisser les passagers oblige le chauffeur à lui faire confiance. Nos entretiens ont montré que les crieurs sont souvent plus jeunes que les chauffeurs et qu'ils projettent de devenir chauffeurs plus tard. La question financière est difficile à aborder au cours des entretiens. De nombreuses questions insistantes sont nécessaires pour obtenir une information concernant les montants qui circulent. Les estimations qui ressortent de ce travail indiquent que l'équipage paye 40 000 FCFA au propriétaire du véhicule chaque jour et se partage le reste de la recette. Cette estimation est concordante avec les résultats de André W. Landa [Landa, 2014].

Les stratégies mises en place par les équipages de véhicules à Brazzaville reposent sur le crieur. En effet, celui-ci annonce les trois points de repère suivants qui seront desservis. Il choisit donc la suite de l'itinéraire et le chauffeur se contente de suivre ses indications. Le crieur annonce ainsi les prochains arrêts en fonction d'un certain nombre de paramètres que nos entretiens nous ont permis d'identifier. Tout d'abord, il tient compte de la destination des autres véhicules présents.

Je peux changer de chemin n'importe quand. Par exemple, si je vois que le bus de devant prend tous les passagers. (Chauffeur - Brazzaville - 2014)

Il prend également en compte le nombre de personnes qui réagissent à son annonce. Plusieurs itinéraires différents peuvent être exprimés avant que le crieur fasse son choix définitif. Il n'est pas rare de voir un groupe de passagers trop peu nombreux changer de véhicule plusieurs fois avant de trouver celui qui l'emmènera à destination.

Quand le bus ne se remplit pas et qu'il y a beaucoup de gens qui attendent, je change [de destination] et je fais monter ceux qui attendent. [...] Oui, je fais descendre les gens qui étaient déjà montés dans le bus. (Chauffeur - Brazzaville - 2014)

Le crieur fait donc entrer en ligne de compte dans son choix : la concurrence et la demande. Il intègre également son expérience et sa pratique du système. Ainsi, de nombreux chauffeurs évitent le centre de l'agglomération en heure de pointe pour ne pas être coincés dans les embouteillages. De la même manière, les habitudes et les espaces connus des crieurs sont privilégiés.

On sait l'endroit où vont les gens, tous les jours c'est pareil. (Chauffeur - Brazzaville - 2014)

On va toujours jusqu'à Makelekele mais on dépasse jamais. C'est qu'il faut passer par Total pour rejoindre le Djoué. C'est pas interdit, c'est juste qu'on ne le fait pas. (Chauffeur - Brazzaville - 2014)⁷

Cet ensemble de stratégies implique une connaissance et une expérience de la ville particulièrement fines. La vie personnelle du crieur, et surtout son quartier d'origine, joue un rôle important du choix de la destination. Un certain nombre de clivages socioethniques sont présents à Brazzaville. Les quartiers d'immigrations des personnes originaires du Sud et du Nord du pays ne sont pas les mêmes [Dorier-Apprill et al., 1998]. Les tensions entre groupes différencient les espaces urbains [Ziavoula, 2006]. Un équipage originaire du Sud de Brazzaville fera plus facilement le choix de desservir cette zone. Les zones habitées majoritairement par d'autres groupes ont mauvaise réputation et sont moins bien connues. L'ancrage territorial des équipages est donc important dans leurs choix et leurs représentations de la ville.

7. Voir la carte Figure 2.21 : Il est interdit de tourner à gauche en arrivant de Makelekele sur l'avenue de l'OUA qui relie le CCF à Bifouti. Les chauffeurs doivent donc remonter jusqu'au marché Total pour faire demi-tour et reprendre la direction du Sud. Le marché Total est un arrêt de bus très important où de nombreux passagers sont présents, ce n'est donc pas pour une raison de manque de demande que ce crieur fait ce choix.

L'objectif principal de ces stratégies reste de rendre ses trajets les plus rentables possible. En effet, trop de temps passé dans les embouteillages entraîne une perte importante pour l'équipage. Les tickets des passagers à bord ne suffisent plus à compenser la consommation du véhicule et le temps perdu à attendre.

Dans ce contexte, les crieurs ont mis au point une technique qui s'applique uniquement en heure de pointe. Celle-ci porte le nom de "demi-terrain". Il s'agit de ne plus annoncer trois arrêts, mais seulement un ou deux. Ainsi, le trajet couvert par le prix d'un ticket est plus petit. Pour se rendre à destination, un usager devra payer deux fois le prix habituel. Par exemple, sur un trajet au départ du CCF, le crieur annonce normalement "La Ville, La Gare, Poto-Poto". En heure de pointe, il n'annonce que "La Ville, La Gare" pour faire payer un deuxième ticket pour Poto-Poto (voir Figure 2.21).

Les gens n'aiment pas le demi-terrain, mais pour nous c'est important sinon je ne vais plus rouler à 8h du matin! (Chauffeur - Brazzaville - 2014)

Le demi-terrain a également l'avantage de permettre aux crieurs de ne pas s'engager. Ils peuvent changer d'itinéraire plus facilement ou faire demi-tour si jamais il y a trop d'embouteillages.

Le demi-terrain ça sert à s'adapter. En partant de Mougali, j'annonce seulement jusqu'à Mampassi et ensuite je vois si je vais vers Thalangaï ou Tsiémé. (Chauffeur - Brazzaville - 2014)



FIGURE 2.22 – File d'attente pour entrer dans un bus en heure de pointe

En heure de pointe, le nombre d'usagers aux arrêts de bus est très important et il devient difficile de trouver une place. Le système des demi-terrains repose sur ce déséquilibre entre

l'offre et la demande. Les usagers sont obligés d'accepter de payer plus cher sous peine d'attendre plusieurs dizaines de minutes supplémentaires. De cette façon, les équipages de véhicules compensent les temps d'attente dans les embouteillages.

2.3 Quelle valeur ont ces deux cas par rapport au phénomène général du transport artisanal ?

La trajectoire d'un mobile se construit selon deux dimensions : le temps et l'espace. Dans le transport artisanal, les équipages de véhicule contrôlent l'une de ces dimensions, ou les deux. À l'inverse, dans un système planifié et centralisé, les horaires comme les itinéraires sont prévus. La pertinence des deux cas que nous étudions vient du fait qu'ils nous permettent chacun d'explorer les conséquences d'une absence de contrôle et de planification en dissociant les deux dimensions du déplacement.

Dans le cas de Lima comme de Brazzaville, les contraintes spatio-temporelles ne sont pas issues d'une volonté d'orientation du système par les pouvoirs publics, mais de contraintes exogènes. Les formes urbaines, l'état de la voirie et la trajectoire historique et sociale de la ville ont fait émerger l'organisation des transports artisanaux. La forme du réseau disponible pour la circulation ou les itinéraires fixes ne sont pas issus d'une réflexion technique, mais de processus non planifiés. Dans ce contexte, deux types de stratégies voient le jour.

2.3.1 La gestion des itinéraires

Les transports brazzavillois représentent un cas typique de transport artisanal. En réalité, ce type d'organisation est le premier qui vient à l'esprit quand on évoque le transport artisanal. La stratégie de gestion des itinéraires qui est mise en place par les équipages des véhicules se retrouve dans de nombreuses villes. Il correspond à celui des *rikshaw*, des *tuk tuk* et des mototaxis qui restent l'archétype du transport artisanal. Pourtant cette stratégie se retrouve également dans des transports plus collectifs [Godard, 2002], généralement des bus de différentes tailles [Salazar Ferro, 2014]. Ainsi, les *collectivos* Colombiens [Gouëset et al., 2014] ou les *car rapides* Sénégalais [Lammoglia et al., 2012] fonctionnent également sur la base de la gestion des itinéraires. Les stratégies mises en place par les équipages brazzavillois ne sont pas forcément les mêmes que dans les autres villes, mais la logique de fonctionnement reste la même. Dans ce contexte, notre travail constitue une base méthodologique pour analyser ce

type de système. La démarche et les modélisations mises en place par la suite pourraient être adaptées à d'autres contextes.

Finalement, la stratégie de gestion des itinéraires est une sorte de transport à la demande qui se construit de proche en proche. Ce fonctionnement est basé sur le principe du taxi, mais collectif. Tout l'enjeu se trouve donc dans l'agrégation des déplacements. Les équipages des véhicules ont la difficile tâche de construire leur desserte en fonction de la demande. Ils doivent prioriser les différentes destinations. Ainsi la gestion des itinéraires nous permet d'analyser finement la dimension spatiale du transport collectif.

2.3.2 La gestion des fréquences

Les transports liméniens ont une stratégie de gestion des fréquences qui est un cas limite du transport artisanal. Cette stratégie se retrouve dans de nombreuses villes, notamment en détournement d'un transport partiellement institutionnalisé. Les plus grandes villes d'Asie et d'Amérique Latine ont des transports artisanaux qui fonctionnent sur ce principe. Lima [Quispe Conejo, 2007], Djakarta [Desmoulière, 2015] ou Nairobi [Graeff, 2009] sont des exemples de villes où les transports artisanaux ont des itinéraires contraints.

La contrainte d'itinéraire ne laisse que la dimension temporelle aux équipages de véhicule. Ils sont donc dans l'obligation de gérer leurs vitesses de circulation pour influencer sur les fréquences de passage. Cet aspect temporel du transport est plus difficile à observer, ce qui saute aux yeux en premier reste l'itinéraire. Mais quand ce dernier est fixe, les modulations temporelles ont un impact très important sur la desserte. Il ne faut pas les négliger. En effet, deux bus qui circuleraient avec peu d'intervalles ne permettraient pas forcément de desservir autant de passagers que s'ils s'éloignaient de plusieurs minutes. Cette question de l'optimisation de la vitesse de circulation reste un élément clé d'une desserte efficace.

2.3.3 D'une typologie à ses limites

Le tableau suivant propose une typologie des transports artisanaux en fonction des véhicules et des stratégies des équipages. Les cas de Lima et Brazzaville sont mis en lien avec d'autres situations existantes. Cette liste, issue principalement d'un travail bibliographique, n'est ni exhaustive ni exclusive. Autrement dit, certains systèmes de transports artisanaux sont absents. Les cas cités le sont pour un de leurs systèmes de transport, par exemple pour leurs taxis collectifs mais ils ont peut être aussi des bus en circulation. Dans ce cas, ils n'ont pas été cités une deuxième fois dans le tableau.

	Gestion des itinéraires	Gestion des fréquences
Bus	Brazzaville Dakar Rio de Janeiro Accra	Lima Jakarta Nairobi Casablanca Addis Abeba
Taxis Collectifs	Marakech Agadir Casablanca	Buenos Aires
Mototaxis	Lomé Cotonou Douala Lagos	

FIGURE 2.23 – Typologie de transports artisanaux

Ces exemples mettent en évidence le caractère représentatif des deux exemples cités. Les stratégies de gestion des itinéraires ou des fréquences se retrouvent dans plusieurs autres systèmes de transports artisanaux. En revanche, cette typologie a ses limites comme toute tentative de généralisation. Tout d’abord, des variations dans les stratégies sont inévitables. Pour les équipages de véhicules, une connaissance très fine de la ville est nécessaire pour élaborer la bonne stratégie. Même si la logique générale s’intéresse à la gestion du temps ou de l’espace, le détail des stratégies reste particulièrement contingent. Il constitue en effet une émanation directe de la ville et de sa lecture par les équipages. Dans la mesure où nous ne pouvons pas enquêter plusieurs cas de transport artisanal pour jauger les nuances dans la mise en œuvre des stratégies, nous considérons que les développements observés à Lima et Brazzaville constituent un exemple utilisable. L’idéal serait malgré tout de pouvoir affiner encore notre connaissance de plusieurs stratégies de chaque type pour pouvoir mesurer leurs différences.

Dans de nombreuses villes, les systèmes de transports sont multiples et reposent sur différents types de véhicules qui utilisent différentes stratégies. Ainsi à Brazzaville, on peut considérer que les *coaster* utilisent une stratégie de gestion des fréquences puisqu’ils sont bloqués sur un itinéraire. Mais nous avons choisi d’étudier principalement la stratégie de gestion des itinéraires développée par les *hiace*. Certains travaux s’intéressent à la construction de systèmes hybrides entre transports publics planifiés et transport artisanal. Dans ces modèles,

le secteur artisanal propose un service de rabattement pour les transports publics. Il s'agit souvent de Bus Rapid Transit [Gil-Beuf, 2007]. Cependant, une telle intégration se heurte aux difficultés liées à la billettique, à la régulation des tarifs, à la répartition des zones de desserte ... [Lomme, 2004] [Kamden, 2014]. Une étude fine des systèmes artisanaux pourrait s'intéresser à la complémentarité entre nos deux types de stratégies. Un système de transport reposant entièrement sur l'artisanat pourrait être élaboré sans faire appel à des transports publics. Ainsi cette typologie a ses limites en raison du manque de précision dans la description de chaque cas. Pourtant, l'étude fine de ces stratégies pourrait être porteuse de nouvelles approches du transport artisanal.

2.4 Conclusion du chapitre 2

Les contextes liméniens et brazzavillois ont amené à l'émergence de systèmes de transports collectifs artisanaux. Ils représentent une part plus ou moins importante de l'offre de transports. L'origine coloniale de ces deux villes a largement influencé leur structure urbaine actuelle. Mais ce sont les processus émergents et le secteur informel qui caractérisent le mieux la production urbaine récente. Le faible taux de motorisation nécessite l'utilisation de transports collectifs et les besoins de mobilité quotidienne ne sont pas satisfaits par des transports institutionnels.

En ayant pour point de départ commun l'absence de centralisation et de planification, les transports collectifs prennent différentes formes. Ils reposent, comme tous les systèmes artisanaux, sur une propriété atomisée et sur une grande autonomie des équipages de véhicules. Cette dernière caractéristique induit les principales propriétés du système. L'autonomie se concrétise par le développement de stratégies. Deux types de stratégies ont été mis en évidence : la gestion des itinéraires et la gestion des fréquences. À travers la prise en compte de ces stratégies, nous prenons le parti de nous concentrer sur les actions quotidiennes des équipages de véhicules et sur leurs impacts sur la desserte à l'échelle de la totalité de l'agglomération.

Les contextes urbains, et les stratégies des équipages qui s'y développent, se traduisent à l'échelle du système de transport. Ce dernier a des caractéristiques émergentes qui sont directement liées aux propriétés individuelles équipages de véhicules. Nous proposons d'analyser ces caractéristiques à travers leurs traductions spatiales.

Deuxième partie

Du terrain à la modélisation

Les transports artisanaux ne sont pas centralisés, pourtant ils permettent la mobilité quotidienne de plusieurs millions de citoyens à travers le monde. À partir des études de cas que compte la littérature scientifique et de notre expérience à Lima et Brazzaville, nous avons pu dégager deux modes d'organisation principaux. Ceux-ci sont définis spécifiquement par les stratégies mises en place par les équipages de véhicules. Ainsi la stratégie de gestion des itinéraires est employée, entre autres, à Brazzaville et la stratégie de gestion des fréquences a été observée à Lima.

Cette partie s'intéresse aux structures émergentes dans les cas de Lima et Brazzaville. Nous tenterons de les approcher de deux manières différentes et complémentaires. Il s'agit dans un premier temps d'observer les structures spatiales des transports étudiés. Ce chapitre sera l'occasion de souligner les défis posés par la collecte de données pertinentes et fiables à propos de notre objet d'étude. Puis nous utiliserons une méthode d'analyse de données spatiales pour traiter des caractéristiques structurelles de ces systèmes. Finalement, nous verrons comment explorer les relations dynamiques entre stratégies et structures spatiales dans le chapitre 4. Cela nous mènera à développer une proposition méthodologique adaptée à l'étude de ce type de système de transport.

Chapitre 3

Construire une démarche de géographie dynamique pour analyser les transports artisanaux

Ne relevant d'aucune planification, les systèmes de transports artisanaux sont assez peu documentés. Dans ce contexte, la constitution de bases de données fiables nécessite des moyens importants. L'obtention d'informations auprès des autorités publiques ou des organismes producteurs de données est parfois complexe. La fiabilité de ces informations peut également être interrogée dans certains cas. Nous présenterons donc dans un premier temps quelles sont les données nécessaires à l'analyse des transports artisanaux. Nous verrons ensuite comment elles ont été obtenues et ce que nous apprend leur analyse.

Les méthodes que nous utilisons s'intéressent aux caractéristiques de ces systèmes à l'échelle globale. Autrement dit, grâce à la cartographie et à l'analyse de données, nous analysons les transports collectifs au niveau de la totalité de l'agglomération. Cependant, les systèmes de transports collectifs artisanaux émergent à partir des stratégies individuelles des équipages de véhicules. Le lien entre ces stratégies et les propriétés de ces systèmes à échelle macro pose question. En effet, dans une approche statique, les relations multiscalaires ne sont pas explicitées. Nous proposons donc d'utiliser une approche dynamique, c'est à dire de modélisation et de simulation pour lier ces deux niveaux d'analyse. Cette approche de modélisation nous place dans le champ des sciences de la complexité. Nous clarifierons donc dans ce chapitre le positionnement épistémologique qui en découle.

3.1 Les structures émergentes du transport artisanal : que nous apprend la cartographie ?

3.1.1 Données disponibles et Données collectées

Les données nécessaires à l'analyse d'un système de transport artisanal

Les systèmes de transports collectifs artisanaux reposent sur l'autonomie des équipages de véhicule et l'éclatement de la propriété (voir Partie 1). Cela implique une très faible, voire une absence, de planification de la desserte. Ils doivent donc être analysés différemment des autres systèmes de transport¹. Il s'agit pour nous de considérer le transport collectif artisanal comme un phénomène qui s'inscrit dans la ville, dans son organisation à la fois sociale et spatiale. Il prend ainsi part à une structure qui le dépasse et dont certains éléments doivent être précisés pour que l'analyse soit complète. Nous nous attachons donc à présenter les principaux éléments de l'environnement qui interagissent avec notre objet d'étude (Figure 3.1).

Le système de transport est inclus dans l'environnement urbain, qui peut être appréhendé grâce à la définition de la structure urbaine. Autrement dit, la forme du réseau urbain, l'état des infrastructures et la localisation des activités sont autant d'éléments qu'il faut prendre en compte pour comprendre comment fonctionnent les transports auto-organisés. Par exemple, dans l'analyse de la répartition de la desserte, il est nécessaire de situer les routes qui sont carrossables et celles qui ne le sont pas. De même, les fréquences de passages doivent être étudiées en lien avec la répartition des activités : l'hypothèse d'une fréquentation différente des zones résidentielles et des zones d'activités doit être posée. En lien avec ces contraintes environnementales, les besoins en mobilité sont matérialisés par les usagers qui composent la demande pour les transports collectifs. Les caractéristiques de ces usagers doivent également être analysées précisément afin de comprendre quelles sont leurs stratégies de choix modaux et d'itinéraires.

D'autre part, le système de transport s'inscrit dans un contexte institutionnel et dans un contexte local, à la fois social et culturel. Il est évident que la législation concernant les services de transports collectifs ou les véhicules roulants a son importance, de même que le rapport à la norme et à son respect. Ces différents éléments de contexte sont bien entendu reliés entre eux, mais notre objet d'étude reste le système de transport collectif. Nous ne précisons donc pas les relations entre ces éléments, mais uniquement leurs relations au système de transport.

1. J'entends par là les systèmes de transport collectifs institutionnels, dont les horaires et les itinéraires sont fixés par une autorité centralisatrice.

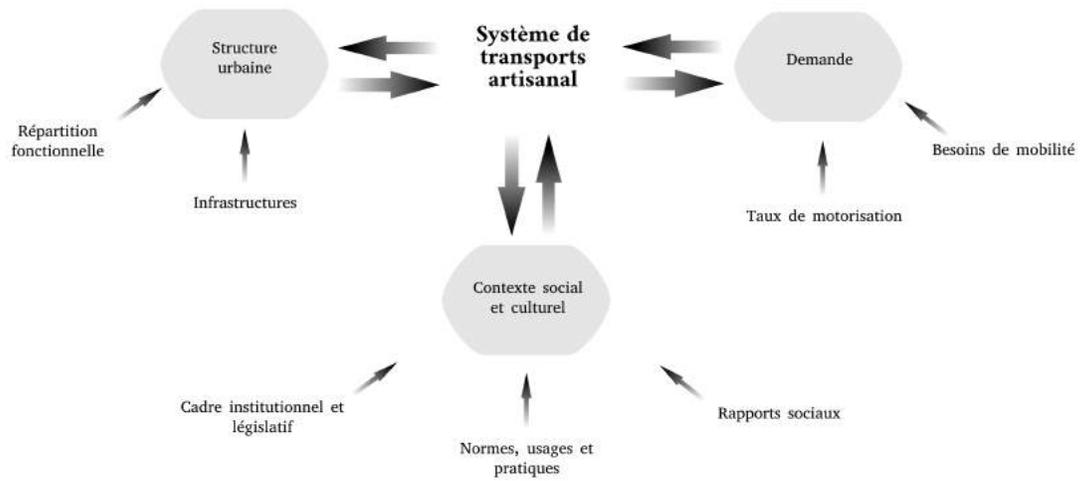


FIGURE 3.1 – Schéma du contexte systémique des transports collectifs urbains

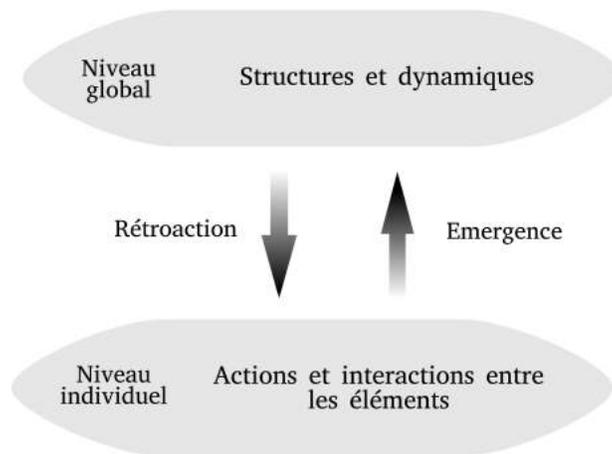


FIGURE 3.2 – Schéma du processus d'émergence

Une fois cet environnement posé, comme nous l'avons fait dans le chapitre 2, nous pouvons présenter les caractéristiques du système de transport en lui même. Il se caractérise par des structures organisationnelles, économiques, sociales et spatiales. Son fonctionnement interne peut être analysé selon plusieurs échelles spatiales et organisationnelles. Les différents acteurs et agents du système interagissent au niveau micro. Ils font émerger au niveau global des structures et des dynamiques particulières (Figure 3.2). Celles-ci ont en retour une influence sur le niveau individuel par un processus de rétroaction. Ce phénomène d'émergence se caractérise dans les transports artisanaux par le lien entre les actions et interactions des équipages de véhicules au niveau micro et la structure du système de transport au niveau global (Figure 3.3). Les équipages de véhicules sont les principaux acteurs du système de transport artisanal puisque la totalité du service repose sur leurs choix au quotidien. Ils sont finalement peu influencés par les pouvoirs publics, du moins dans les deux cas que nous étudions. Nous avons présenté leurs caractéristiques à la fin du deuxième chapitre.

Nous pouvons maintenant nous intéresser au niveau global du système de transport collectif. Notre interrogation porte sur la structure émergente. Quelle est sa nature et quelles sont ses propriétés ? Pour répondre à cette question, nous avons dû établir un protocole original qui se différencie de l'analyse de système de transports collectifs plus planifiés. En effet, l'offre de transports collectifs interroge autant que la demande dans le transport artisanal puisque ni l'un ni l'autre n'ont été élaborés dans une démarche de planification. Ainsi, pour analyser cette offre de transports collectifs originale, nous nous sommes inspirée des méthodes utilisées depuis les années 1960 pour étudier les déplacements individuels. Finalement, ces systèmes de transports émergents se caractérisent de la même manière que les déplacements individuels :

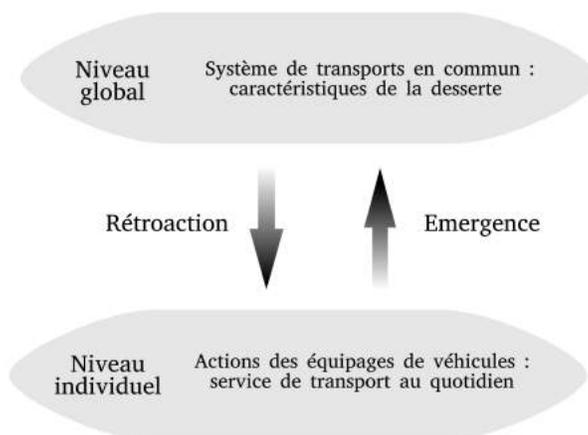


FIGURE 3.3 – Schéma de l'émergence dans un système de transport artisanal

ils ont une empreinte spatiale et une empreinte temporelle. Analysons les structures de ces deux dimensions.

Les données nécessaires sont les suivantes. Dans un premier temps, l'effectif du transport artisanal permet d'avoir une idée de la disponibilité du service à l'échelle de l'agglomération. Cette donnée est difficile à obtenir comme nous allons le voir. Ensuite, pour étudier la répartition spatiale de la desserte à l'échelle de l'agglomération, nous avons besoin des tracés des itinéraires des transports collectifs ou du moins des routes parcourues par des bus. Cependant, cette répartition spatiale doit être nuancée par les rythmes qu'elle prend : certains itinéraires sont plus ou moins parcourus. Nous devons donc partir à la recherche de données de fréquences de passage des bus.

Des méthodes d'acquisition multiples

Au cours de l'acquisition de nos données, deux défis se sont posés. Dans le cas de Lima, la taille de l'agglomération et du système de transport à étudier a rapidement nécessité des moyens techniques et financiers trop importants pour pouvoir collecter un certain nombre de données. Dans les deux cas, la fiabilité des données et des informations fournies par nos différents interlocuteurs, notamment les pouvoirs publics, peut être remise en question. Afin de tenter de limiter les biais générés par ces deux situations, nous avons fait le choix de multiplier les sources afin de croiser les informations (Figure 3.4).

CHAPITRE 3. UNE DÉMARCHE DE GÉOGRAPHIE DYNAMIQUE

	Brazzaville	Lima
Données de seconde main	/	Tracés des itinéraires Fréquences de passage Origines / Destinations de la Demande
Données enquêtées	Réseau (routes et arrêts) Fréquences de passage Origines / Destinations de la Demande Stratégie des équipages	Stratégies de équipages Localisation des informateurs

FIGURE 3.4 – Tableau des données utilisées pour étudier les transports artisanaux

Lima La collectivité territoriale en charge de la gestion de l'agglomération liménienne est la Municipalité Métropolitaine². Dans le cadre du projet de *Bus Rapid Transit*, l'entreprise *Protransporte* en partenariat avec la coopération internationale japonaise *JICA* a été chargée par la Municipalité Métropolitaine d'élaborer un projet de BRT. Cette mission a donné lieu à une étude générale du transport à Lima assortie de propositions d'aménagements. Le rapport a été rendu public sous la forme d'un dossier volumineux en 2007 : le *Plan Maestro* [JICA and CTLC, 2007]. Cette enquête à grande échelle s'intéresse aux structures des déplacements à Lima et à tous les modes de transports utilisés. Il s'agit de la seule base de données complète disponible à l'heure actuelle sur les transports à Lima. Nous avons bien conscience de son ancienneté, mais le développement d'une enquête de cette ampleur n'est pas dans nos moyens pour l'instant. Nous pourrions faire évoluer notre modèle de Lima en intégrant des données plus récentes sans changer le modèle en lui même. Une telle approche permettrait l'étude des changements qui sont intervenus depuis cette période dans les transports à Lima. Cela pourrait constituer un nouveau développement de ce travail. Cependant pour l'instant nous utilisons les données du Plan Maestro.

Celui-ci repose en premier lieu sur une enquête de demande. Elle a été effectuée sur le modèle d'une enquête ménage-déplacement. 427 zones d'enquête ont été élaborées et un échantillon de ménages a été interrogé dans chaque zone. Nous utilisons des données issues de cette enquête pour comprendre la structure de la demande.

En ce qui concerne les différents modes de transport, les enquêtes reposent sur plusieurs types de méthodes : des enquêtes cordons, des comptages, des enquêtes par entretiens ... Nous avons pu nous procurer les données de comptages concernant les transports collectifs.

2. Traduction littérale de "Municipalidad Metropolitana" qui regroupe toutes les communes de l'agglomération en une seule échelle administrative.

I	D	H	Arrêt O	Motif O	Arrêt D	Motif D	Correspond 1	Correspond 2	Correspond 3	Freq	Al	Profession	Gi	Satisfaction
1	X													+
		2												-
		3												
2	X													+
		2												-
		3												
3	X													+
		2												-
		3												
4	X													+
		2												-

FIGURE 3.5 – Extrait de la grille de l’enquête

Nous disposons ainsi des fréquences de passage des véhicules sur 120 points de comptages dans l’agglomération. La Municipalité Métropolitaine nous a fourni les données concernant les concessions des transports collectifs. Nous avons effectué nous-même des relevés GPS concernant les *dateros* puisqu’aucune donnée n’existait sur le sujet.

Brazzaville Dans le cas de Brazzaville, les données de seconde main sont inexistantes. Nous avons donc mis en place un certain nombre d’enquêtes par nos propres moyens. Des relevés GPS ont été effectués pour les tracés des itinéraires. Nous avons recruté des enquêteurs pour effectuer des comptages de fréquences et une enquête origine / destination des usagers (Figure 3.5, 3.6, 3.7). Ces enquêtes ont nécessité une mission de terrain financée en partie par l’UMR ESPACE en 2014. 12 enquêteurs ont été mis à contribution durant plusieurs semaines afin de mener à bien cette collecte de données³.

En cohérence avec le fonctionnement du système de transport, nous avons localisé nos enquêteurs aux points de repère (Figure 2.21). Nous avons effectué cette enquête en deux phases. La première, du 29 Avril au 9 Mai 2014, a permis d’enquêter les principaux arrêts. Ces données ont été complétées par une deuxième phase du 26 Mai au 6 Juin qui s’est intéressée aux arrêts moins importants, notamment en périphérie. Le calibrage du questionnaire a été

3. Ces enquêteurs ont été formés le 18 et le 19 Avril. Dans un premier temps, nous avons explicité les concepts de déplacement, trajet, correspondance, motif... afin que toutes les questions soient bien claires pour eux. Des jeux de rôles ont ensuite permis de tester des mises en situation. Le lendemain, chacun a été accompagné pour quelques enquêtes puis laissé en autonomie. La saisie des premières fiches suite à cette première matinée a permis de souligner la nécessaire clarté des notes et remarques

CHAPITRE 3. UNE DÉMARCHE DE GÉOGRAPHIE DYNAMIQUE

Questions :

I = Individu interrogé

D = Déplacement concerné par les questions. Le déplacement X est le déplacement en cours. Les autres sont les déplacements habituels.

H = Heure du déplacement (à 5 minutes près).

Arrêt Origine (= Nom de l'arrêt auquel l'individu est monté dans le bus) : A quel arrêt avez-vous commencé votre voyage ?

Motif O (=précision sur le lieu de départ) : Où étiez-vous au départ ? (chez vous ? au travail ? chez des amis / de la famille ? au marché ?)

Arrêt Destination (= Nom de l'arrêt auquel l'individu va descendre (sans prendre d'autre bus ensuite)) : A quel arrêt allez-vous ?

Motif D (=précisions sur le lieu d'arrivée) : Où allez-vous ? (chez vous ? au travail ? chez des amis / de la famille ? au marché ?)

Correspondance 1 / 2 / 3 (= Nom des arrêts où l'individu a changé de bus entre l'arrêt Origine et l'arrêt Destination.) Vous avez changé de bus ou vous allez changer de bus pendant votre trajet ? Combien de fois ? Où ?

Fréq (=Fréquence à laquelle le trajet est effectué) : Vous faites de ce trajet souvent ? Combien de fois par semaine / mois ? (Coder les réponses : x / J ou x / S ou x / M)

Passer aux déplacements 2 et 3 (= mêmes questions sur les déplacements habituels) : Vous faites des déplacements souvent ? Pour aller au travail ou voir de la famille par exemple ? (si bien sûr ce n'est pas le motif du déplacement en cours !!). Pouvez-vous me dire ... Retour aux question H à Fréq.

A (=âge) : Quel âge avez-vous ?

Profession (=informations sur la catégorie socio-professionnelle) : Vous travaillez dans quoi ? Quel est votre métier ?

G (=genre) Remplir F ou H sans poser la question.

Satisfaction (= creuser un peu les points forts et les points faibles de l'auto-organisation du point de vue des usagers) Selon vous, qu'est-ce qui est bien / moins bien dans le fonctionnement des bus ? Y en a-t-il suffisamment (horaires, attente, distance aux lieux de vie ...) ?

FIGURE 3.6 – Guide pour les enquêteurs

Vers PK / Maison HFilou + Cundi 05. Mai, Espin BAH 01

I	H	Arrêt O	Motif O	Arrêt D	Motif D	Correspond 1	Correspond 2	Correspond 3	Fréq	A	Profession	G	Satisf
X	15h 30	Maison HFilou	chez un ami	Terminus PK	Achat au marché				1/5				
6	06h 00	Rajabat Laffite	Maison	Rd pt Héli	école				6/5		Agicien	♀	longues attentes dans les arrêts, les buses terminent le fait que l'arrêt n'est ouvert le dimanche.
3													
X	14h 03	Maison HFilou	Maison	Ter. PK	minite de son parent				2/5				
6	00	Maison HFilou	Maison	Eglise	W	Maison Hwancomb	Hanpant		6/5		Electricien	♀	Il faut que l'état fasse des efforts pour améliorer le secteur, par ex que les bus terminent pas par des bus qui ne sont pas des bus qui ne sont pas des bus.
3													
X	14h 26	Village Maybaya	lieu de W.	Terminus PK	Maison				2/5				
6	00	la termin	Maison	Bivard	lieu de W.				6/5		Formigant		non souffrons par rapport à ceux qui ont plus de bus. Longue attente dans les arrêts...
3													
X	14h 42	Maison HFilou	W.	bouquet	Maison				2/5				
6	30	bouquet	Maison	Maison HFilou	lieu de W.				5/5		Agent de Maison	♀	C'est une galère même pour ceux qui ne prennent pas de bus.
3													

Notes : les stationnements des bus à l'arrêt ont de très courte durée et les usagers ont facilement leur bus. ce qui constitue une grande difficulté pour l'opération. (je n'ai pas suffisamment le temps de l'interroger convenablement les usagers).

FIGURE 3.7 – Photographie d'une grille de l'enquête remplie par un enquêteur

réalisé entre le 22 et le 25 Avril 2014, avec l'aide de trois enquêteurs. Nous avons interrogé en tout 3978 personnes. Nous disposons d'un échantillon de 4300 déplacements répartis sur la journée, de 4h00 à 22h00. Les tranches horaires de 4h00 à 6h00 et de 18h00 à 22h00 n'ont pas été directement enquêtées⁴. Nos enquêteurs ont travaillé de 6h00 à 18h00. Les origines-destinations de ces déplacements ont été agrégées au niveau des 21 arrêts de bus principaux servant de points de repère aux usagers et aux opérateurs. Le nombre de déplacements par arrêt sélectionné varie de 251 à 747. Ainsi nous avons un intervalle de confiance qui varie de 6,18 à 3,58 selon les arrêts, avec une médiane à 4,92⁵ (La carte des arrêts de Brazzaville est disponible en Figure 2.21).

En ce qui concerne les comptages, nous avons effectué des relevés à 9 emplacements différents (Figure 3.8). Ils ont eu lieu durant une journée de semaine et dans les deux sens de circulation. Ces données nous donnent un aperçu partiel des fréquences de passage des bus. Les fréquences sur les axes qui relient deux points ont ensuite pu être estimées.

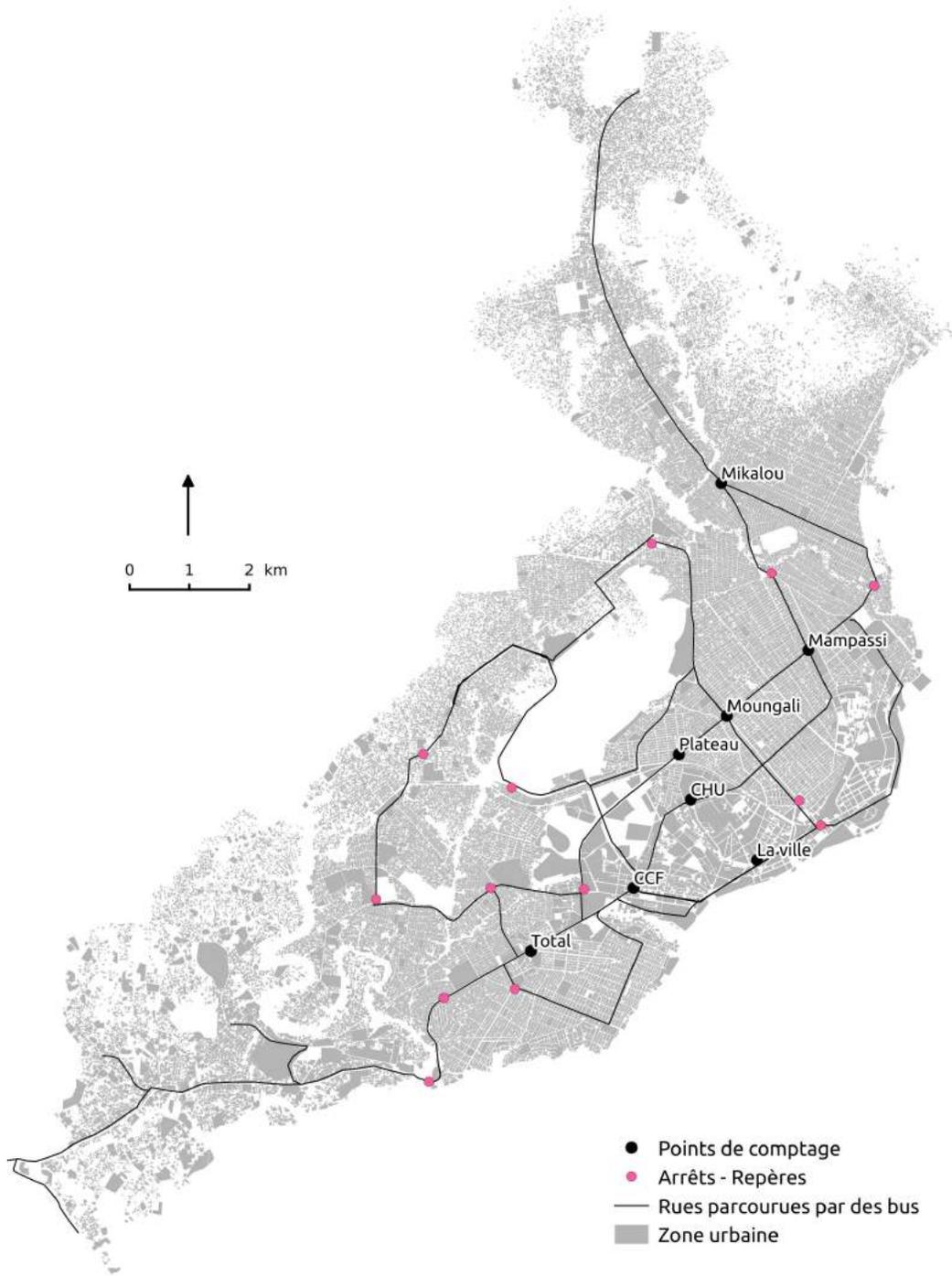
L'information la plus difficile à obtenir a été celle du nombre de bus en circulation. Après un certain nombre d'entretiens auprès des autorités municipales et nationales en charge des transports, nous avons obtenu des chiffres allant de 500 à 3000 bus en circulation. Nous avons donc fait le choix de compter les bus et minibus en circulation à partir d'une photographie satellite du type de celle présente en Figure 3.9. Cette méthode permet de figer l'agglomération et les véhicules en circulation à un instant précis. Les bus et minibus de Brazzaville sont peints en vert avec le toit blanc. Cette caractéristique nous a permis de les différencier des voitures, qui sont également plus petites. La photographie a été agrandie et quadrillée en petites zones dans lesquelles nous avons pu compter le nombre de bus⁶. Les résultats de ces comptages sont représentés sur carte en Figure 3.11. La précision de cette méthode peut être remise en question, cependant en la croisant avec les autres sources, nous pouvons avoir une estimation du nombre de bus en circulation.

Toutes les informations obtenues par des enquêtes ont ensuite été confrontées avec des données issues d'entretiens semi-directifs auprès des différents acteurs du système. Les différentes administrations ont été contactées et interviewées.

4. Les questions portaient sur le déplacement en cours et sur les autres trajets de la journée. Certains répondants ont donc fait état de déplacements effectués hors de nos heures d'enquête.

5. Nous avons estimé à un million le nombre de déplacements journaliers à Brazzaville à partir des données existantes sur les autres grandes villes africaines [Diaz Olvera et al., 2010].

6. Ce travail fastidieux a été effectué par Romain Méjéan lors d'un stage de Licence en 2014. Je le remercie encore pour sa contribution.



Source : Enquête OD - 2014
Léa Wester

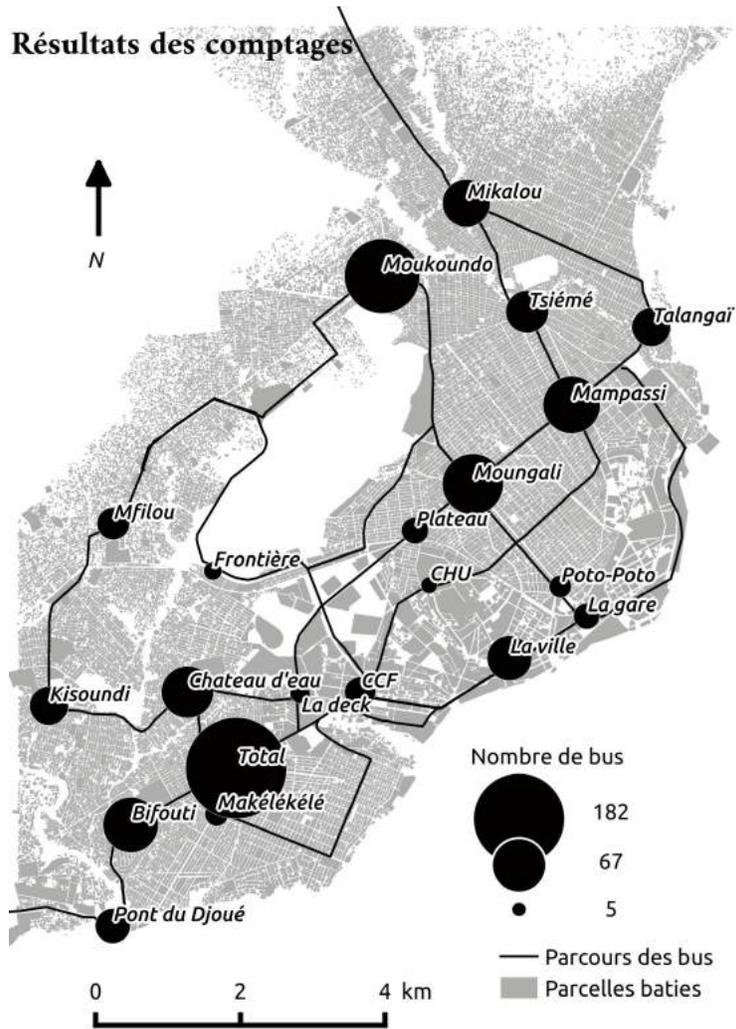
FIGURE 3.8 – Localisation des points de comptage



FIGURE 3.9 – Photographie satellite avec localisation des arrêts de bus clés



FIGURE 3.10 – Exemple de zone agrandie pour le comptage



Source : Comptages et DIGEFUR

Léa Wester - 2017

FIGURE 3.11 – Carte des résultats du comptage sur image satellite

3.1.2 Les structures émergentes

Les transports artisanaux ont la réputation d'être inefficaces, inconfortables, polluants et dangereux. Nous ne remettons pas en question la réalité de certaines de ces affirmations comme nous avons pu le voir dans la première partie. Cependant, les structures spatiales émergentes montrent que ces systèmes de transports ne sont pas si inefficaces qu'il paraît.

Desserte étendue

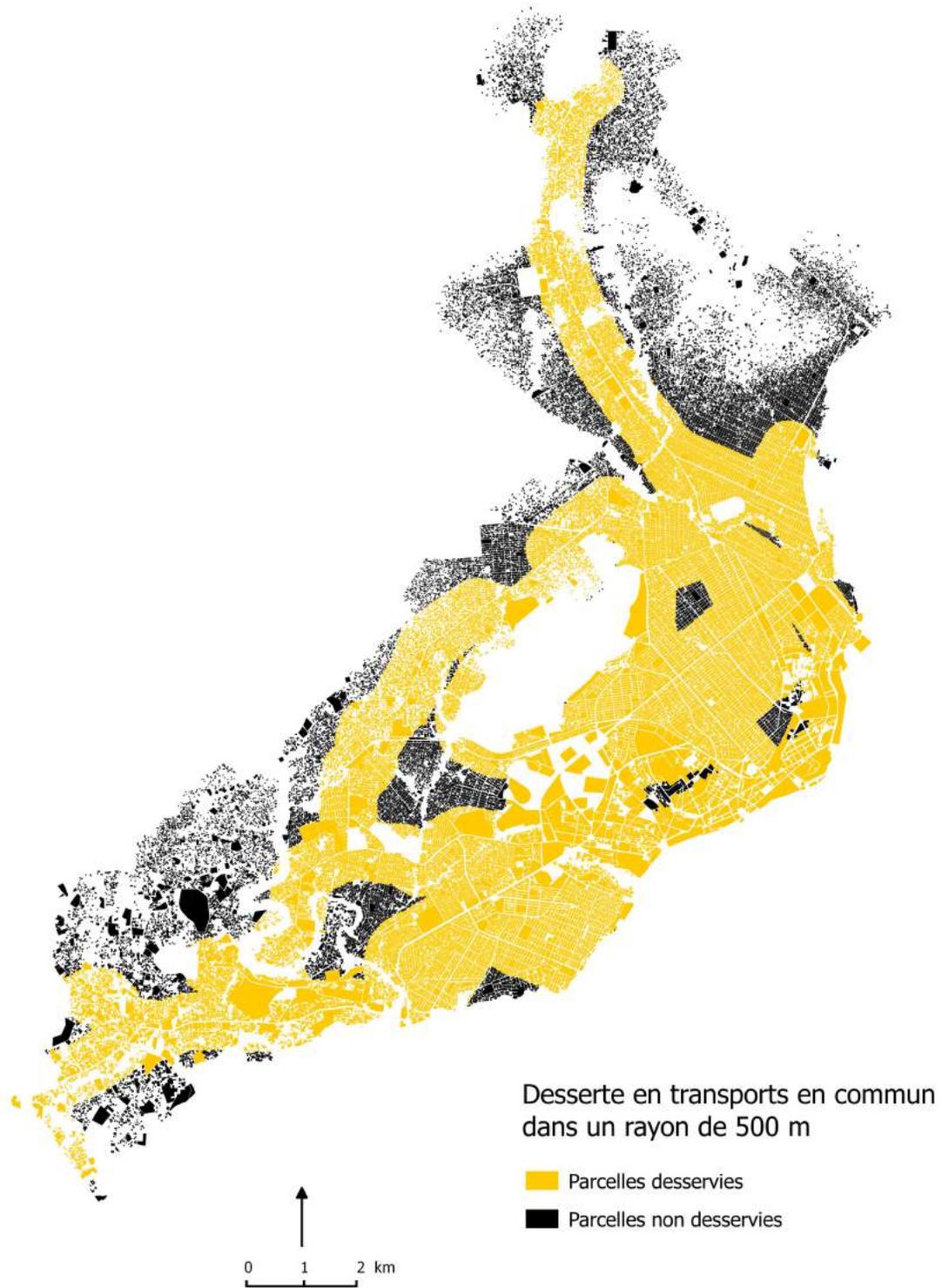
Les données que nous avons pu obtenir concernant les itinéraires parcourus par les transports collectifs de Lima et de Brazzaville montrent qu'ils parcourent une grande majorité de l'agglomération. Dans le cas de Brazzaville, 28% de la surface bâtie se trouve à plus de 500 mètres d'une rue où passent des transports artisanaux (Figure 3.12). Nous n'avons pas de données de recensement assez précises pour connaître exactement le nombre d'habitants qui se trouvent dans cette zone à Brazzaville. Mais ces périphéries ne font pas partie de la première ceinture du centre de l'agglomération qui est la plus densément peuplée. La densité de population de ces espaces non desservis est inférieure à 10 000 habitants par kilomètre carré. Ainsi on peut estimer que cette zone regroupe moins de 12% de la population.

Dans le cas de Lima, moins de 16% de l'aire urbaine se trouve à plus de 500 mètres d'une ligne de transport collectif, cela correspond à moins de 7% de la population (Figure 3.13)⁷.

Ainsi, spatialement, la desserte construite par les transports collectifs artisanaux des deux villes que nous étudions est étendue. Elle recouvre une grande partie de l'agglomération dans laquelle elle se développe.

Cependant, une desserte étendue spatialement n'implique pas forcément une desserte étendue socialement. Nous n'avons pas les mêmes données concernant la population à Lima et à Brazzaville. Cependant, nous pouvons avoir dans les deux cas un aperçu des usagers desservis par les transports artisanaux. À Lima, Camille Michel a consacré son master à analyser les dynamiques foncières, notamment dans le cadre de la régularisation de l'habitat informel [Michel, 2012]. Ce travail a donné lieu à l'élaboration d'indicateurs de pauvreté et de vulnérabilité [Michel and Oliveau, 2013]. Nous avons eu l'occasion de croiser ces données de population et les données de transports. Les cartes en Figure 3.14 permettent de visualiser quel est le niveau de richesse des zones qui ne sont pas desservies par les transports collectifs à Lima. Parmi les zones non desservies, on retrouve des espaces abritant des populations

7. La couverture des aires urbaines françaises début 2000 est de 64.2% pour les pôles urbains, ce qui donne 93% de la population desservie [Surowiec and Minvielle, 2002]. Dans les 20 plus grandes aires urbaines, la part de la population desservie par les transports urbains est de 74% en moyenne [Certu and Gart, 2005]. La question qui se pose aujourd'hui est plutôt de l'ordre du droit au transport et de politique tarifaire [Féré, 2013].



Source : Enquête 2014 - DIGEFUR
Léa Wester - 2014

QGIS

FIGURE 3.12 – Desserte à Brazzaville
116

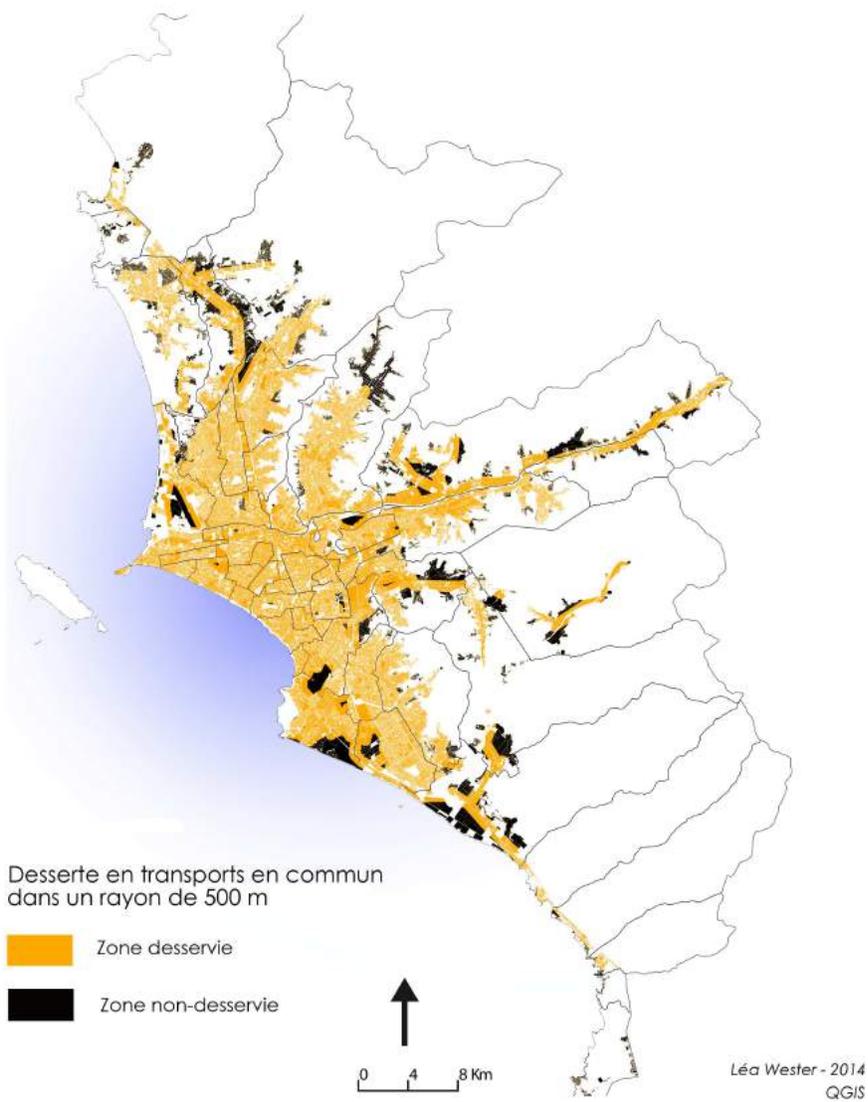


FIGURE 3.13 – Desserte à Lima

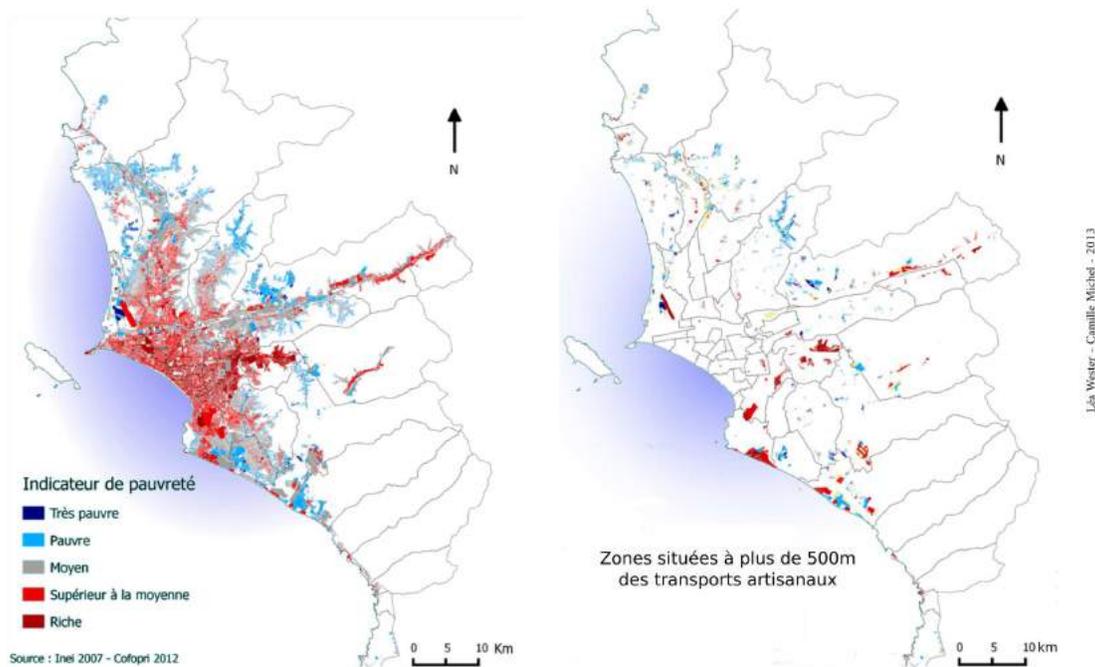


FIGURE 3.14 – Indicateurs de pauvreté et transports à Lima

pauvres, en périphérie, notamment au Nord de l’agglomération. Mais des populations plus riches que la moyenne sont également représentées. Ces dernières utilisent probablement des moyens de déplacement plus onéreux que le transport collectif : taxi ou véhicule personnel. Les catégories extrêmes de l’échelle sociale sont donc moins desservies par les transports artisanaux. Ces derniers sont plutôt destinés aux catégories moyennes et pauvres.

Pour Brazzaville, nous n’avons pas de données de recensement assez précises pour pouvoir utiliser la même méthode pour jauger le rôle social des transports artisanaux. Dans notre démarche d’analyse du système de transport artisanal, nous avons mis en place une enquête origine / destination auprès des clients. Les caractéristiques individuelles des enquêtés ont été collectées. Nous pouvons donc connaître le profil des utilisateurs de transports collectifs. Les usagers enquêtés appartiennent à des catégories professionnelles aux revenus moyens voire bas : métiers peu qualifiés, étudiants, fonctionnaires ... (Figure 3.15).⁸

8. Ces catégories professionnelles sont déclaratives et elles correspondent à la manière qu’ont les personnes interviewées de se positionner économiquement. L’importance du secteur informel dans l’économie rend difficile la comparaison avec l’ensemble de la population. En effet, le recensement officiel, qui date de 2009 pour le plus récent, ne prend en compte que le secteur dit "moderne". Ainsi l’ensemble des travailleurs informels n’est pas pris en compte dans leurs statistiques. Pour preuve, les données d’emploi de 2009 comptent 131 445 salariés, tous secteurs confondus, publics et privés, pour une population de 2 239 204 personnes entre 15 et 64

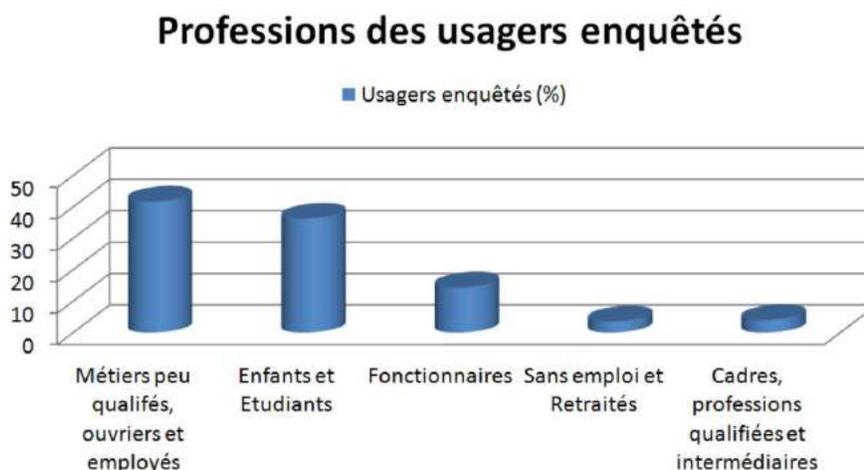


FIGURE 3.15 – Profils des usagers enquêtés à Brazzaville

Les données qualitatives issues de notre enquête confirment que ces usagers n’ont pas les moyens d’acheter un véhicule, ni d’utiliser les taxis. Ils se sentent dans l’obligation d’utiliser les transports collectifs. La faible représentation des groupes sociaux les plus précaires, sans emploi et retraités, laisse supposer que cette catégorie de la population utilise peu le transport collectif et que la marche est le mode le plus employé. De la même manière, les cadres et professions intermédiaires, dont les revenus sont plus importants, sont peu présents. Cela laisse supposer qu’ils utilisent d’autres moyens de transport. Il semblerait donc qu’on retrouve à Brazzaville le même phénomène qu’à Lima : les transports artisanaux sont plus utilisés par catégories moyennes de la population. Les plus riches et les plus pauvres ont une demande différente et ils sont peu intégrés dans la desserte.

Dans le cas de Brazzaville, l’analyse peut être plus poussée. Nos données concernant les motifs de déplacement nous permettent de constater que la majorité des trajets en transport artisanal sont effectués par obligation. En effet, les motifs contraints sont les plus nombreux (Figure 3.16). Parmi eux, nous englobons : les déplacements domicile - travail / études, les rendez-vous administratifs ou médicaux et l’approvisionnement. Les déplacements de loisir correspondent aux achats hors alimentation, aux sports et activités culturelles. D’autre part, 67% des déplacements enquêtés ont lieu au départ du domicile. Des questions complémentaires nous ont permis de comprendre que les déplacements moins urgents, comme le retour chez soi à la fin d’une journée, se font à pied pour une grande partie des usagers. Ils économisent ainsi

ans [CNSEE, 2009]. Le recensement ne compte pas les travailleurs indépendants et le secteur informel. Il ne différencie pas non plus les différentes catégories socioprofessionnelles.

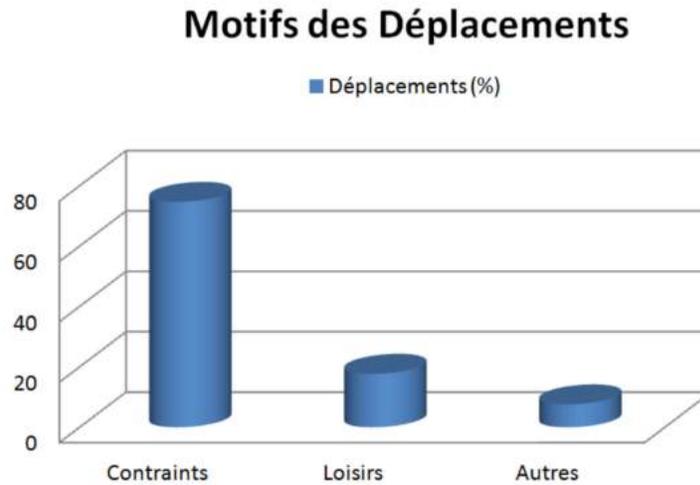


FIGURE 3.16 – Motifs des déplacements enquêtés

le prix du trajet retour. au-delà du fait que les usagers ne disposent que de peu de choix modal, les déplacements effectués en transport collectif le sont par obligation. Les usagers pourraient donc être considérés comme captifs de ce système de transport collectif.

Finalement, les dessertes construites par les transports artisanaux sont dans les deux cas étendues. Elles sont remarquables d'un point de vue spatial puisqu'elles recouvrent une grande partie des agglomérations concernées. Cependant, cette desserte n'est pas totale et les zones non desservies révèlent une différenciation sociale. Les transports artisanaux ne sont pas destinés aux catégories les plus pauvres ou les plus riches de la population. Cependant, ces analyses nous donnent des informations sur l'étendue de ces dessertes sans préciser leur homogénéité. Nous devons nous interroger sur les structures qui émergent dans ce système. Pour cela, nous allons croiser les dimensions spatiales et temporelles du transport en nous intéressant aux fréquences de passage des véhicules.

Centralités

Dans le cas de Lima, les structures spatiales du système de transport artisanal sont caractérisées par les itinéraires fixes, définis par des concessions. Celles-ci obligent les véhicules à conserver un trajet défini. La répartition de ces concessions, que nous avons obtenue auprès de l'autorité municipale qui en tient le registre, montre une structure particulière (Figure 3.17). Le quartier historique et la partie centrale de l'agglomération ont un nombre de concessions par rues plus important. De même, les grands axes qui relient les périphéries à cette zone

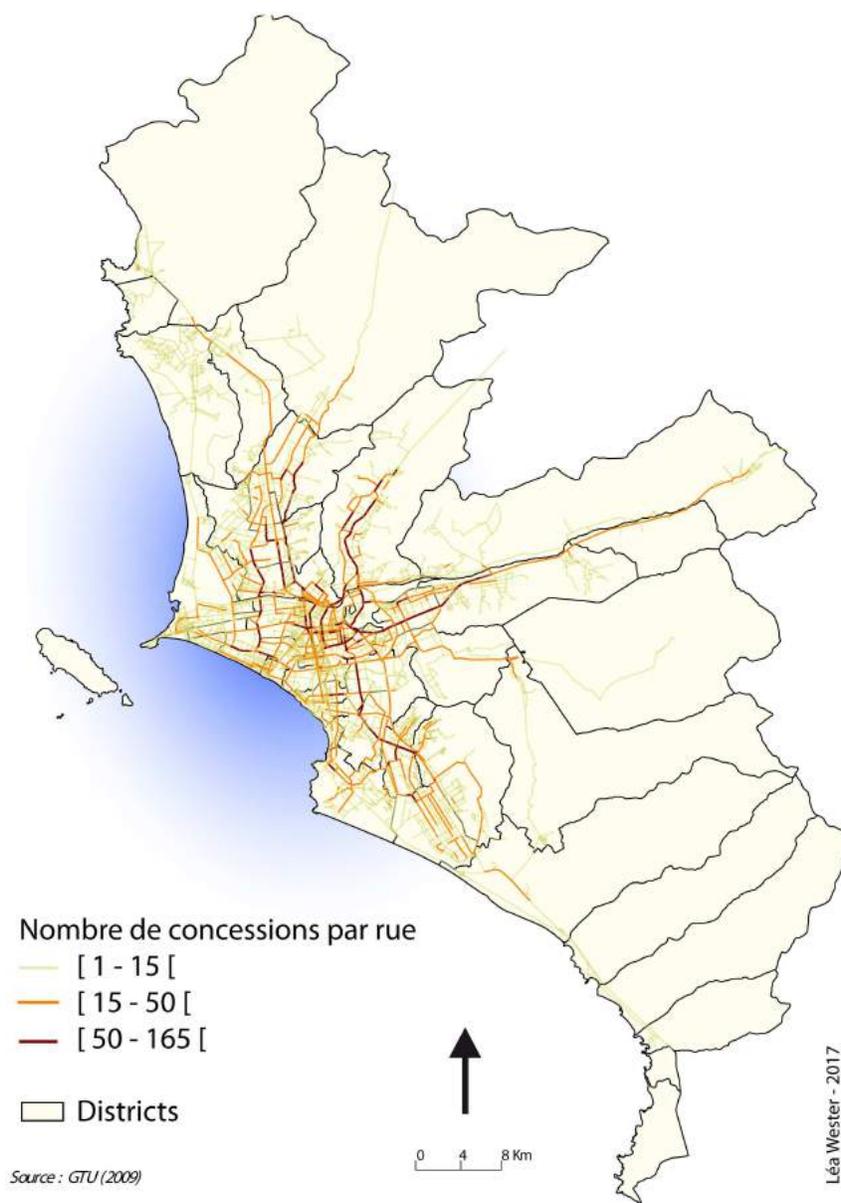


FIGURE 3.17 – Répartition des concessions à Lima

centrale regroupent plus de concessions. Le nombre important d'autorisations délivrées pour une même rue est dû au fait qu'il n'y a pas de planification de ces itinéraires. Ils sont accordés sans études techniques aux concessionnaires qui en font la demande et qui sont capables de payer les taxes correspondantes. Les transports artisanaux liméniens sont concentrés dans la partie centrale de l'agglomération et sur les principaux axes vers le Nord et l'Est. Mais, les quelques 700 concessions enregistrées par la mairie de Lima ne sont pas toutes parcourues de la même façon. Nous proposons donc de cartographier les fréquences de passage des bus, grâce aux comptages du Plan Maestro (Figure 3.18). Nous pouvons constater que les zones les plus fréquentées, quelle que soit la tranche horaire, sont le centre historique et les axes menant aux périphéries. La route menant à la périphérie Sud est moins fréquentée en heures creuses alors que les autres le sont aussi tout au long de la journée. Cela s'explique par le fait que cette zone est principalement résidentielle alors que les périphéries Nord et Est abritent également des activités industrielles et de service. La zone côtière est plus mise en valeur par ces cartes de fréquences que par la carte des concessions. En effet, malgré un nombre de concessions peu important, la zone est fréquentée du fait du développement récent de zones commerciales et d'activités de services, en périphéries des quartiers résidentiels aisés.

Le système de transport artisanal semble donc faire émerger des centralités qui correspondent aux espaces les plus actifs de l'agglomération. La stratégie de gestion des fréquences repose sur l'ajustement des vitesses de circulation par les chauffeurs tout au long de la journée. Ils utilisent les informateurs pour estimer les positions des autres véhicules. Les zones à forte fréquentation représentent des espaces à enjeux pour les équipages de véhicules. Le chauffeur doit gérer les difficultés de circulation tout autant que ses clients et ses concurrents. Il semblerait donc logique que les informateurs s'y trouvent concentrés. La Figure 3.19 propose une cartographie des localisations des informateurs.

Comme nous en avons fait l'hypothèse, les informateurs se concentrent dans la partie centrale de l'agglomération et sur les grands axes qui permettent de relier les périphéries. Il s'agit des zones les plus fréquentées par les bus comme le montrent les cartes précédentes. Ainsi, le système de transport artisanal fait émerger un certain nombre de centralités qui correspondent aux zones centrales de l'agglomération ainsi qu'aux axes reliant les périphéries. Dans le cas de Lima, l'étendue de la desserte doit donc être nuancée d'un point de vue social par l'abandon des zones les plus riches et les plus pauvres. Mais elle doit également être nuancée d'un point de vue spatial par l'existence de ces centralités. La desserte est étendue, mais elle est loin d'être homogène.

Dans le cas de Brazzaville, les centralités sont mises en évidence par les comptages que nous avons effectués en 2014 (Figure 3.20). Les périphéries ne sont pas toutes représentées.

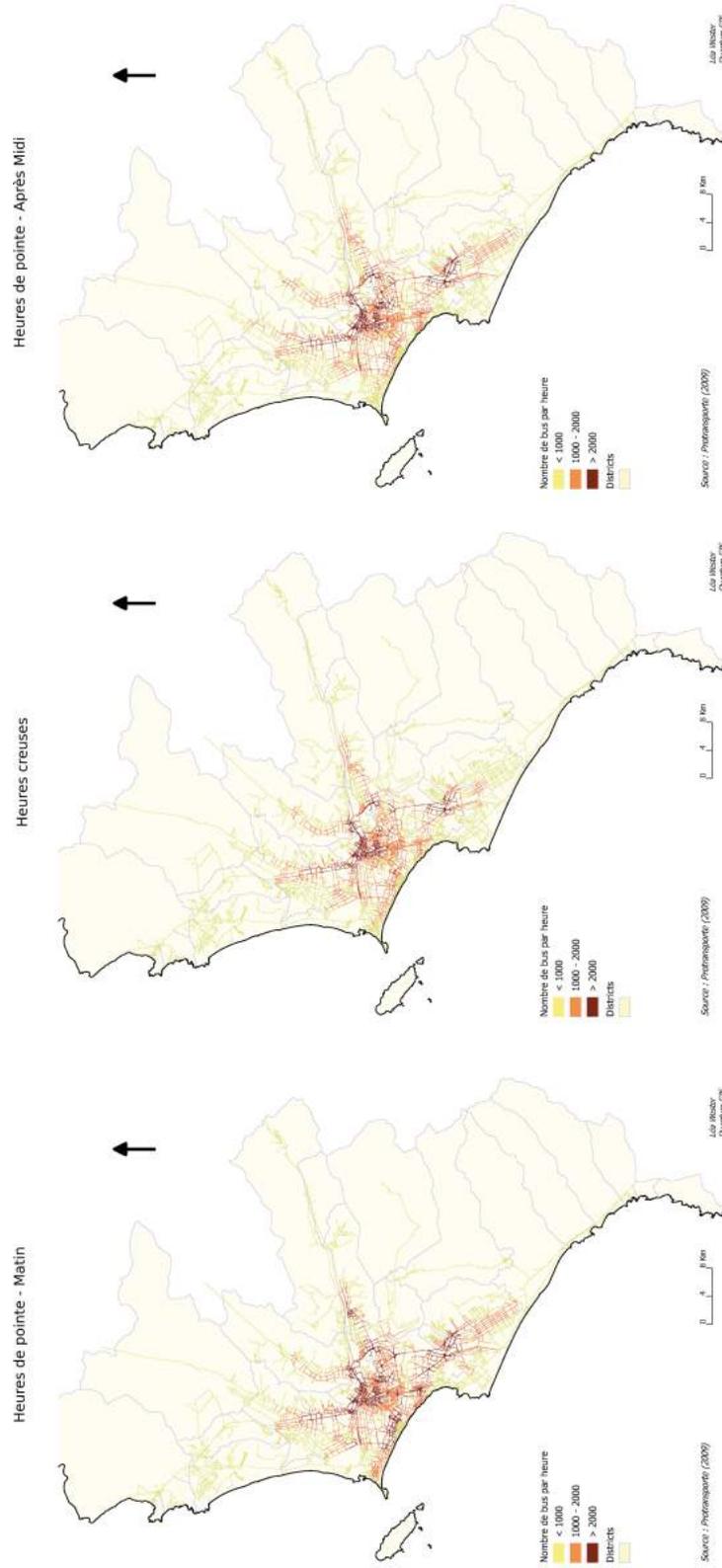


FIGURE 3.18 – Répartition des fréquences à Lima

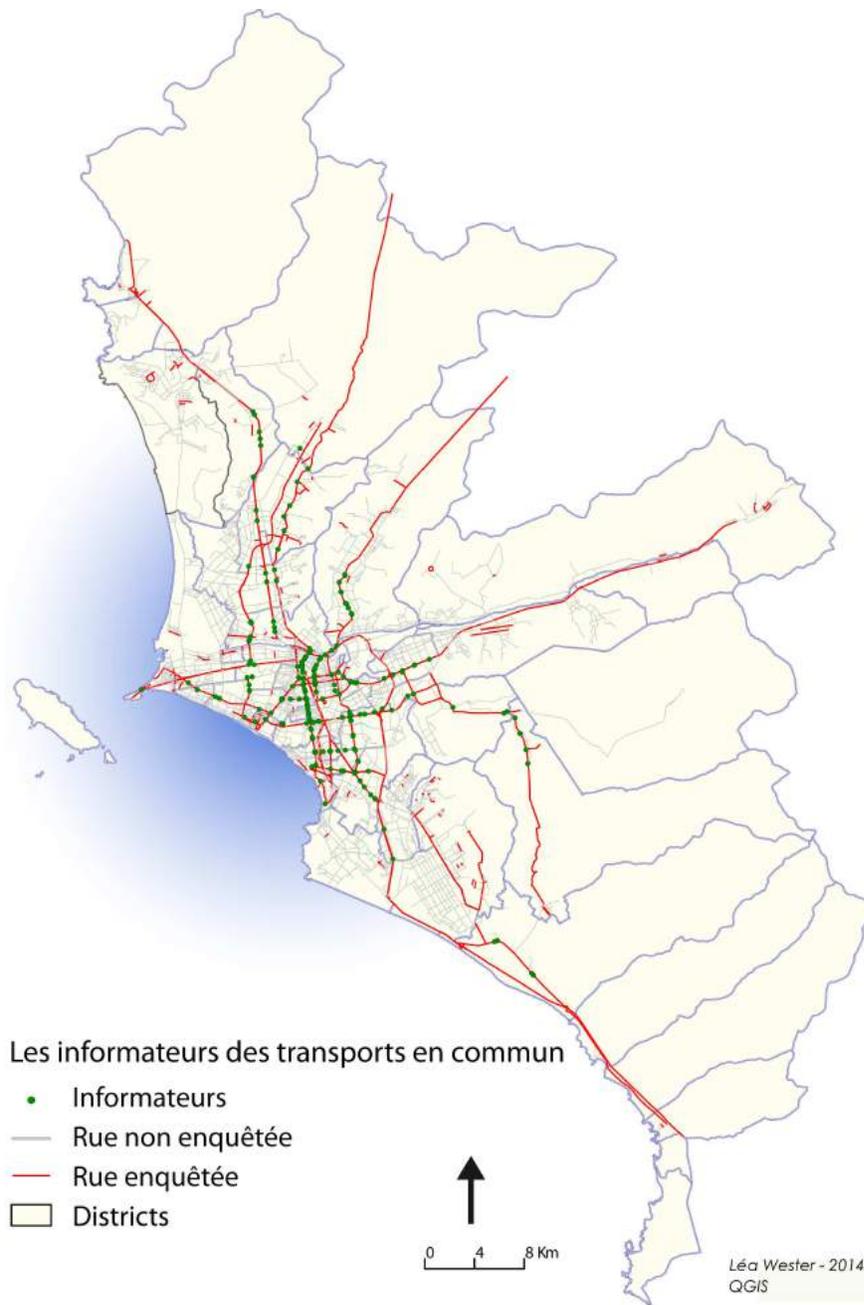


FIGURE 3.19 – Localisation des informateurs

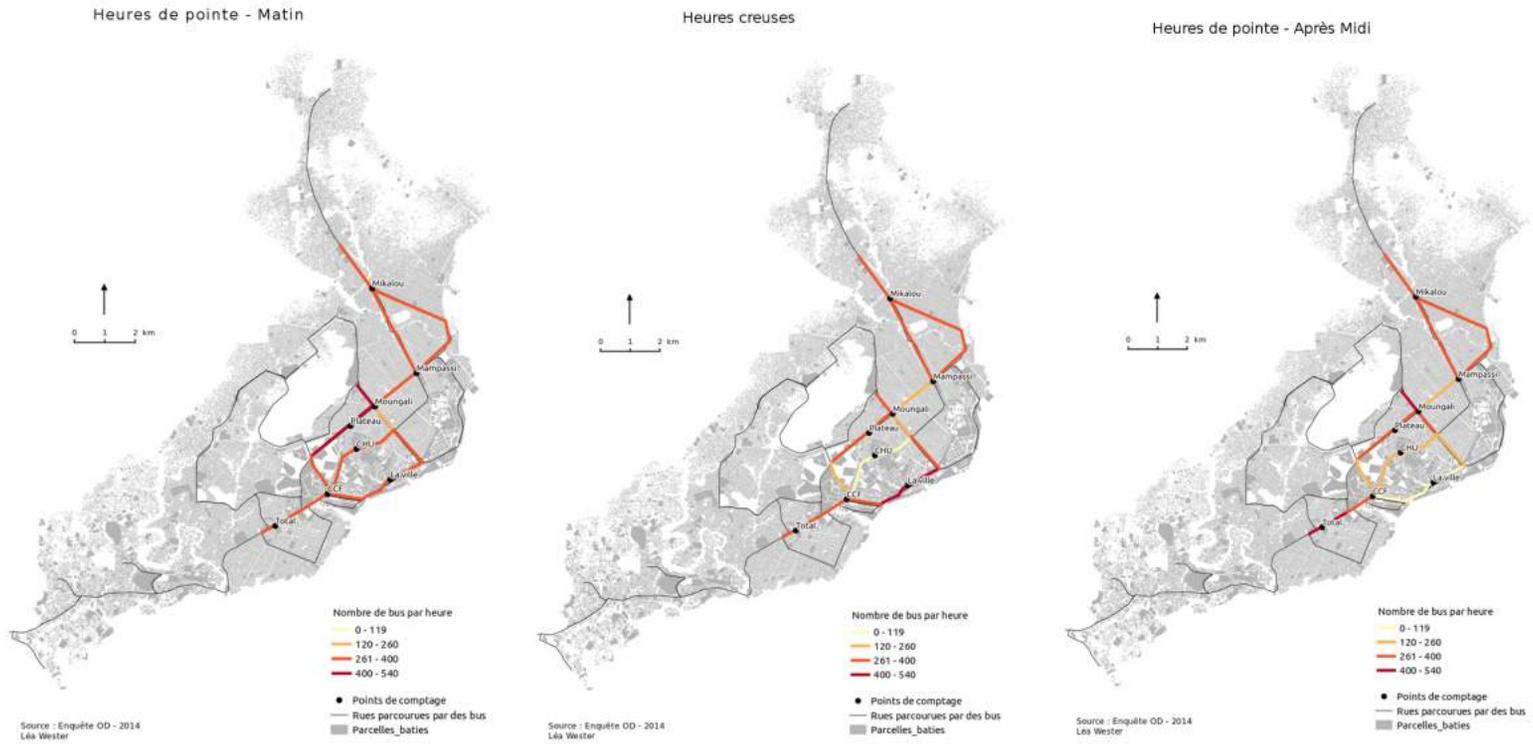


FIGURE 3.20 – Fréquences de passage des bus à Brazzaville

L'heure de pointe de l'après-midi est assez peu marquée. Cela confirme que les transports collectifs sont moins utilisés pour les retours comme nous l'avons vu dans l'enquête auprès des usagers. Les zones autour des grandes artères permettant l'accès au centre-ville, "Total" et "Moungali", sont toujours très fréquentées par les bus. On remarque que le centre en lui-même ("La Ville" et "CHU") n'est pas toujours le plus fréquenté : ce sont plutôt les accès qui y mènent qui se détachent. La congestion générée par les taxis et véhicules personnels aux heures de pointe dans cette zone pourrait expliquer que les transports collectifs sont peu présents en heure de pointe. La périphérie Nord, "Mikalou" et "Mampassi", est fréquentée de manière constante tout au long de la journée. Comparativement, elle est même plus desservie que le centre de l'agglomération à certaines heures. Ainsi, les centralités du système de transport brazzavillois semblent être plus dans la première couronne autour du centre de l'agglomération. Les périphéries, ou en tous cas celle du Nord, sont desservies de manière importante également. Cette répartition n'a rien de surprenant étant donné que les densités de population sont plus importantes en périphéries qu'au centre. Il semblerait logique que la demande suive le même schéma, tout comme les transports artisanaux.

Finalement, ces analyses cartographiques nous montrent que les transports artisanaux des deux cas que nous étudions font émerger des structures spatiales similaires. Les dessertes sont étendues : la majorité des zones urbaines est parcourue par des transports artisanaux. Cependant, des disparités de desserte sont observables. Les centralités observées correspondent logiquement aux centralités démographiques (densités) et économiques (localisation des activités) existantes.

3.1.3 Limites du raisonnement

L'approche cartographique permet d'appréhender les structures spatiales de ces systèmes de transport artisanaux. La desserte étendue qui apparaît est une propriété des deux systèmes (liménien et brazzavillois). Cette desserte n'est pas homogène et des centralités existent. Celles-ci sont différentes selon les cas et semblent se structurer en fonction des caractéristiques de la demande en transport collectif.

Les enquêtes que nous avons mises en place éclairent les modes de fonctionnement individuels des différents acteurs du système de transport. Les acteurs institutionnels sont peu impliqués dans les transports artisanaux. L'influence des tentatives de régulations est assez limitée. Finalement, les principaux acteurs du système sont les équipages de véhicules. La construction concrète du service repose sur leurs actions au quotidien. Ils effectuent leurs choix de proche en proche et de manière autonome, mais leurs comportements conservent

des tendances et des logiques récurrentes. En réalité, les équipages de véhicule adoptent des stratégies de gestion des itinéraires ou de gestion des fréquences en fonction des contextes locaux.

Cependant, les deux approches développées jusqu'à présent ne nous permettent pas de comprendre quelles sont les dynamiques de ces systèmes de transport. Les relations entre le niveau individuel et le niveau global ne sont pas explicites. Les structures spatiales émergent à partir des comportements individuels que nous avons enquêtés. Les évolutions de ces structures sont dépendantes des différentes stratégies mises en place par les acteurs du système.

Comment lier ces deux échelles organisationnelles et spatiales ? Nous touchons du doigt les limites des approches présentées. Si nous sommes capables de comprendre les comportements et les choix de chacun des acteurs du système, nous sommes dans l'impossibilité de mesurer leur influence sur le niveau global. Chaque action individuelle est conditionnée par des facteurs locaux et globaux. Ces derniers sont influencés par les actions individuelles. Finalement, c'est la relation entre l'individu et le groupe, entre les parties et le tout, qui pose question ici. Comment mettre en évidence les caractéristiques de cette relation ? Cette relation de l'individu au groupe, entre deux échelles spatiales et organisationnelles, a un caractère dynamique. Elle repose sur des interactions en évolution dans le système de transport. La desserte est élaborée dans une temporalité courte et elle s'adapte perpétuellement. Les structures que nous observons avec des méthodes d'analyse statiques correspondent à des structures peu évolutives. Nous cherchons donc à faire entrer ces structures dans le temps pour comprendre leurs évolutions.

3.2 De la complexité à la modélisation multi-agents

Afin d'appréhender les transports artisanaux, nous nous sommes tournée vers les sciences de la complexité. Ces dernières sont porteuses de nombreuses méthodes qui permettent d'éviter une simplification excessive tout en favorisant la construction du savoir.

3.2.1 Les concepts clés de notre approche

Systemique

La systémique est une démarche scientifique qui cherche à dépasser les raisonnements analytiques classiques. Autrement dit, l'attention est portée sur les relations entre les phénomènes et non plus sur leur séparation en catégories distinctes. L'outil conceptuel de l'analyse systémique est le microscope [Rosnay, 1975]. À l'instar du microscope et du télescope,

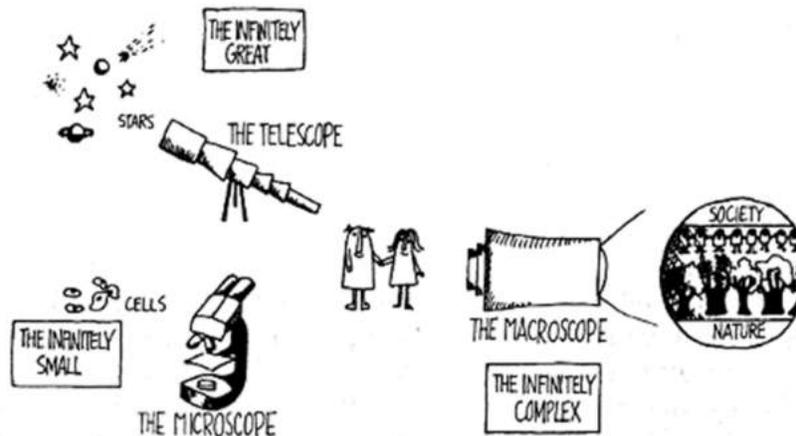


FIGURE 3.21 – Le macroscopie [Rosnay, 1975]

qui donnent respectivement accès à l'infiniment petit et à l'infiniment grand, le macroscopie s'intéresse à l'infiniment complexe (Figure 3.21). Il s'agit de fournir des outils d'analyse pour des phénomènes, dont les caractéristiques échappent aux raisonnements analytiques. En effet, le raisonnement analytique part du principe qu'il est possible de "réduire à des parties l'être étudié et que par conséquent, on peut le reconstituer à partir de celles-ci ; aussi bien au sens matériel qu'au sens conceptuel" [Bertalanffy, 1951]. Mais cela implique qu'il n'y a pas de relations entre ces parties. Au contraire, le macroscopie propose une vision globale en utilisant la systémique. La systémique met l'accent sur les relations entre les différents éléments d'un système. Elle prend en compte ces interactions dans le temps et tient compte de leur irréversibilité. Le système étudié est pris dans son historicité et dans son environnement. Finalement, « le problème méthodologique de la théorie des systèmes est donc de s'occuper des problèmes de nature plus générale que les problèmes analytico-sommatifs de la science classique » [Bertalanffy, 1993].

L'adoption d'une démarche systémique participe d'une épistémologie constructiviste qui repose sur un certain nombre d'hypothèses développées par Jean Louis Le Moigne [Le Moigne, 1994].

- L'hypothèse phénoménologique pose que l'observateur n'appréhende la réalité qu'à travers les phénomènes (ou action) et que la réalité ontologique lui échappe.

- L'hypothèse téléologique souligne le prisme de l'observateur dans son appréhension des phénomènes. Ainsi, les conditions et les projets liés à cette observation ne doivent pas être oubliés dans cette démarche.

Dans une démarche de prise en compte des relations et des interactions, la définition du système et donc de ces limites peut sembler difficile. Dans le cadre d'un système biologique, la membrane externe sert d'office de délimitation. Mais, dans le cas d'un système social, l'unité d'un système et ses bordures posent question. Selon Edgar Morin, « un système est une unité globale d'interrelations entre éléments, actions ou individus » [Morin, 1977]. Cependant, en biologie on préfère la définition de De Rosnay parce qu'il introduit la notion de but en définissant le système comme un « ensemble organisé en fonction d'un but » [Rosnay, 1975]. À la suite de ces deux définitions fondatrices, la notion a évolué et des précisions ont été apportées. Nous retiendrons parmi elles, la définition de l'Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique : « Un système est un ensemble, formant une unité cohérente et autonome, d'objets réels ou conceptuels (éléments matériels, individus, actions...) organisés en fonction d'un but (ou d'un ensemble de buts, objectifs, finalités, projets...) au moyen d'un jeu de relations (interrelations mutuelles, interactions dynamiques...) le tout immergé dans un environnement. » [Le Gallou, 1992]. En ce qui concerne cet environnement, René Boirel distingue trois niveaux représentés par trois cercles concentriques : l'intérieur du système, l'extérieur du système et l'environnement englobant. Ce dernier niveau n'entretient pas d'échanges avec le système considéré. [Boirel, 1988]. Plus précisément, les éléments peuvent être reliés de manière directe ou de manière indirecte. Par exemple, lorsqu'un élément (A) a besoin d'une information, il va chercher l'élément (x) le plus apte à la lui fournir. Les éléments (N) sollicités vont eux-mêmes chercher l'élément (x) capable de résoudre le problème posé. Cela crée une chaîne de relations indirectes entre l'élément (A) et les éléments (x) potentiels sollicités par les éléments (N). Nous avons donc des relations directes entre l'élément (A) et les éléments (N) mais aussi des relations indirectes entre l'élément (A) et les éléments (x) [Malville, 1999].

L'approche systémique en géographie trouve ses racines dans les travaux d'Elysée Reclus avec le concept de "Milieu" [Reclus, 1886]. Plus largement, sa démarche d'analyse est dynamique et pas téléologique, fondée sur l'alternance des "progrès" et des "regrets" [Pelletier, 2013]. Il fonde une géographie sociale et politisée qui se focalise tant sur l'humain que sur les lieux [Pelletier, 2009]. À sa suite, André Chollet utilise les concepts de "Complexe" et de "Combinaison" pour désigner des ensembles géographiques [Cholley, 1942]. Avant lui, Maximilien Sorre utilise également le concept de "complexe" et intègre les causalités multiples, les interactions et le milieu dans ses réflexions sur la géographie médicale [Sorre, 1933].

Dans la continuité de ces premières théories géographiques, la notion de système est introduite progressivement en géographie avec *L'analyse quantitative en géographie* [Racine and Reymond, 1973]. Puis le mouvement prend forme tout au long des années 1980 avec les travaux de François Durand-Dastès [Durand-Dastès, 1992] [Durand-Dastès and Mutin, 1999], Denise Pumain et Thérèse Saint Julien [Pumain and Saint-Julien, 1990] [Pumain et al., 1989] ou Franck Auriac [Auriac, 1979], plus largement la tenue du Géopoint de 1984 sur *Systèmes et Localisations* [Géopoint, 1984]. La démarche de Roger Brunet est également celle d'une géographie systémique : pour appréhender un "monde qui [fait] système", sa chorématique propose des clés d'analyse et de représentation des systèmes spatiaux [Brunet, 2001]. Ces travaux se développent avec une importante référence à la Théorie du Système Général [Bertalanffy, 1951]. Dans le même temps, la systémique suscite de nombreux débats au sein du milieu intellectuel français, autour notamment d'Edgar Morin [Morin, 1977] et Jean Louis Le Moigne [Le Moigne, 1994].

Modéliser

Toute pensée est le résultat d'un processus de modélisation. Chacun se représente la réalité sous forme de modèles. Cependant, les modèles des scientifiques sont explicites et leur élaboration suit un protocole.

Les définitions du modèle et de la modélisation pleuvent. Dans le langage commun, il s'agit d'un "système représentant les structures essentielles d'une réalité" [Robert et al., 2010]. Scientifiquement, une des définitions de référence évoque la "représentation idéalisée du monde réel construite pour démontrer certaines de ses propriétés" [Haggett, 1965].

Un modèle peut servir à [Epstein, 2008] :

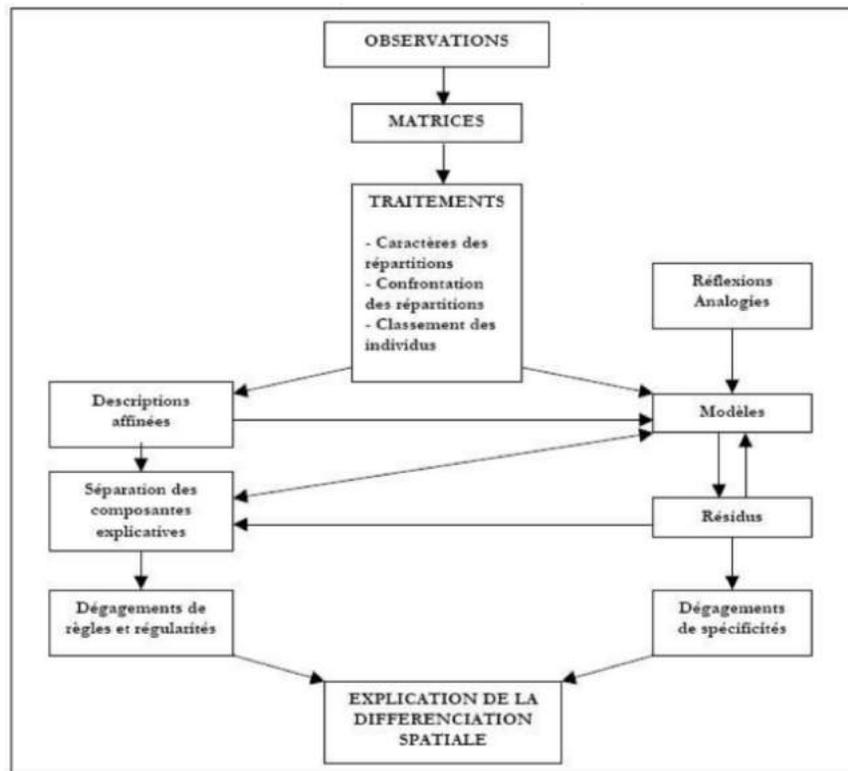
- Expliquer
- Prédire
- Guider la collecte de données
- Souligner les dynamiques fondamentales
- Suggérer des analogies
- Promouvoir une démarche de réflexion scientifique
- Donner les limites de résultats plausibles
- Souligner les incertitudes fondamentales
- Donner des options de sortie crises quasiment en temps réel
- Démontrer des équilibres et suggérer des voies efficaces
- Tester la robustesse des théories

- Montrer l'incompatibilité entre les croyances dominantes et les données disponibles
- Entraîner les professionnels
- Éduquer le public
- Révéler la simplicité / complexité de ce qui est apparemment complexe / simple

Quelle que soit l'utilisation faite du modèle, les critères fondamentaux de scientificité doivent être respectés : objectivité, reproductibilité et falsifiabilité [Popper, 1998].

En géographie, le modèle est un instrument heuristique puissant [Brunet, 2000]. Il permet à la géographie de s'affronter au dialogue entre le général et le particulier. R. Brunet définit trois formes de modèles : les modèles rhétoriques, mathématiques et iconiques. "Toutes trois ont un même objectif : ne pas se contenter de décrire, mais chercher à comprendre et à expliquer en identifiant (ou en supputant) les processus et les formes qui paraissent déterminants" [Brunet, 2000]. Parmi elles, la carte, modèle iconique, est un outil de prédilection des géographes pour analyser des phénomènes spatiaux. Les modèles rhétoriques trahissent le goût prononcé de R. Brunet pour la littérature. Ils se construisent par analogies et métaphores ainsi le monde peut être vu comme un "tissu" qui évoque le réseau. Il utilise même parfois des personnifications où des entités géographiques "naissent, vivent et meurent" [Lefort, 2003]. Ces modèles rhétoriques, tout comme l'utilisation foisonnante d'images a avant tout un objectif pédagogique. Si l'utilisation abusive de bons mots peut être sujette à controverse, il en va de même pour les formules mathématiques. La géographie n'est pas épargnée par les débats qui jalonnent la relation conflictuelle que les mathématiques entretiennent avec les sciences sociales depuis plus d'un siècle [Martin, 2002]. Des tenants d'une "physique sociale" [Quetelet, 1835] à ceux du refus de toute théorisation ou mathématisation des processus sociaux [Comte, 1830], les entres deux et les abus sont nombreux dans toutes les disciplines. La géographie théorique et quantitative s'inscrit dans la nouvelle géographie apparue dans les années 1970. Elle se base notamment sur l'utilisation des mathématiques et des statistiques. L'espace remplace le lieu et la construction d'une démarche nomothétique prime sur l'idiographique [Pumain and Robic, 2002]. Dans ce cadre, la construction de modèles et de théories cristallise la recherche de processus généraux. Il s'agit de "chercher l'ordre sous le bruit, la structure sous la complexité de l'apparence. Nous devons décoder les messages qu'involontairement nous transmet l'espace." [Brunet and Dolfus, 1990].

La modélisation prend donc une place importante dans le raisonnement géographique. Elle permet à la fois de dégager des règles, des régularités et des spécificités [Durand-Dastès, 1992]. Cela nous amène à passer des observations à l'explication de la différenciation spatiale (Voir Figure 3.22).



Source : F. Durand-Dastès, texte inédit, in *Systèmes et Modèles*, CD-ROM

FIGURE 3.22 – Modèle de la modélisation par F. Durand-Dastès

La construction de modèles en géographie s'est souvent émancipée du temps du fait de la nécessité de se concentrer sur des caractères observables (c'est à dire observables en tout temps, et donc relativement permanents) [Durand-Dastès, 2001]. Cette recherche de lois, démarche nomothétique, est intrinsèquement liée à la construction de modèles. Elle peut s'émanciper plus facilement du temps qu'une démarche idiographique où l'échelle temporelle est plus importante puisque ce que tout individu a de plus propre est son histoire [Haggett, 1965]. Il convient donc de construire des entités géographiques suffisamment stables pour être étudiées et d'insérer des temporalités différentes dans les modèles [Durand-Dastès, 2001]. Le développement de l'utilisation de l'informatique et des mathématiques en géographie permet de construire des modèles de plus en plus complexes. Techniquement, l'expérimentation par la simulation devient possible en sciences humaines et sociales. Les modèles peuvent ainsi être "plongés dans le temps" [Coquillard and Hill, 1997]. Différentes méthodes peuvent être utilisées : statistiques comparées, chrono-chorèmes [Ferras, 1993] ou cartographies successives [Grataloup, 1996], modélisation informatique ou mathématique [Sanders, 1992] ...

Complexité

L'apparente absence d'organisation dans les systèmes de transports artisanaux nous oblige à poser la question de l'approche que nous développons. La densité et la multiplicité des processus en jeu dans les systèmes sociaux forcent l'humilité : comment appréhender le monde en considérant tous ses éléments en interactions dynamiques ?

Sur ce sujet, deux démarches scientifiques s'opposent depuis deux siècles. Tout d'abord, des scientifiques privilégient une démarche réductionniste. Ils considèrent que l'explication d'un phénomène est à rechercher dans les interactions entre les éléments au niveau sous-jacent. Ainsi Oppenheim et Putnam proposent une classification hiérarchique en six niveaux, des particules élémentaires aux groupes sociaux [Oppenheim and Putnam, 1958] (Figure 3.23).

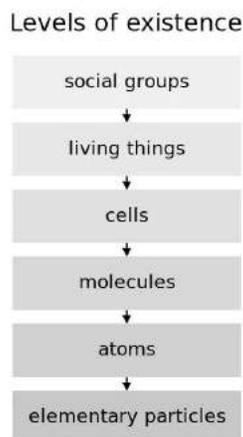


FIGURE 3.23 – Hiérarchisation des objets scientifiques selon le réductionnisme physicaliste [Oppenheim and Putnam, 1958]

En sciences sociales, Raymond Boudon propose d'appréhender les constructions sociales à travers l'individualisme méthodologique [Boudon, 1985]. Selon lui, un fait social peut être expliqué uniquement par les comportements des individus concernés.

À l'opposé de cette démarche individualiste se trouve le parti pris holiste. Ce dernier considère qu'on ne peut pas comprendre les caractéristiques d'un phénomène en le décomposant et en regardant uniquement ses éléments [Mill, 1843]. En sciences sociales, Auguste Comte est le défenseur le plus emblématique de cette démarche. Il considère qu'on ne peut "décomposer l'humanité en individus" [Comte, 1830]. Le positionnement holiste considère ainsi que les caractéristiques du niveau global ne sont pas perceptibles uniquement à partir du niveau individuel. Pour Comte, la société ne fait pas sens si on se place au niveau des individus. Etienne

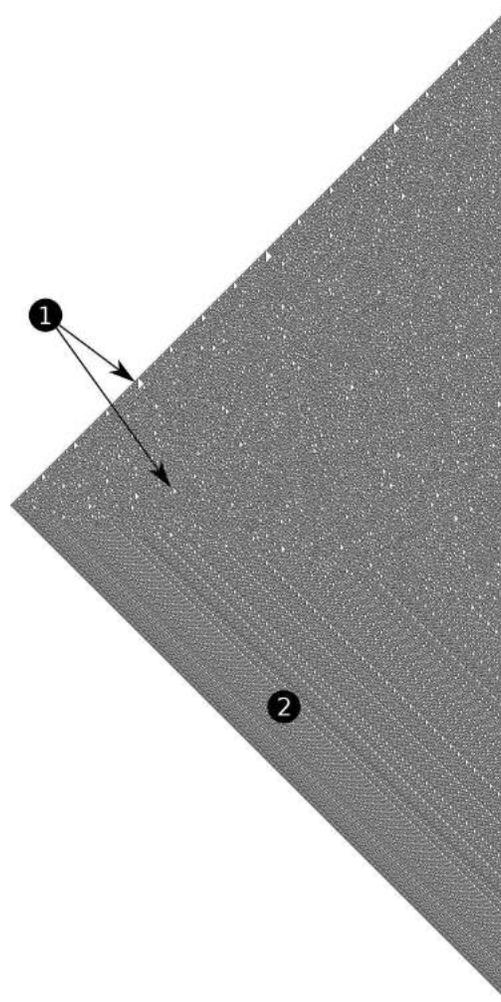


FIGURE 3.24 – Forme produite par 1000 itérations de la règle 30 [Wolfram, 2002], cité par [Delay, 2015]

Delay [Delay, 2015] illustre bien cette démarche dans sa thèse, à partir des travaux de Stephen Wolfram [Wolfram, 2002]. Ce dernier travaille sur des programmes informatiques simples qui produisent des structures aux comportements et aux formes complexes. Par exemple, à partir de 8 règles simples de comportements cellulaires, on observe l'apparition de structures régulières sous forme de triangles blancs ou de schémas réguliers dans la partie inférieure de la figure 3.24.

Comme les structures informatiques précédentes, les phénomènes collectifs montrent des caractéristiques différentes des comportements des individus. La tension entre individualisme et holisme est du même ordre que celles entre objectivité et subjectivité, déduction et induction

ou analytique et synthétique. Ces grands débats épistémologiques ne peuvent être résolus en prenant définitivement parti pour l'une ou l'autre démarche [Valade, 2012]. Nous pouvons plutôt faire le choix de conserver chacun des points de vue en garde fou l'un de l'autre [Delay, 2015]. Pour ce faire, une troisième voie s'offre à nous : celle des sciences de la complexité. Du latin *complexus* qui signifie "embrasser, comprendre", la complexité évoque donc la notion d'éléments différents imbriqués [TLFi, 2002]. En effet, les nombreux positionnements qui découlent de la complexité s'accordent sur le caractère structurant « d'une relation entre le tout et les parties d'un système, plus exactement le fait que la connaissance des parties ne suffit pas à expliquer le fonctionnement du tout » [Benkirane, 2002]. Ainsi, cette démarche est à la fois holiste et individualiste. La complexité introduit des nuances et se concentre sur les relations et les évolutions des éléments plus que sur leur essence.

Contrairement à Descartes et à son raisonnement analytique qui décompose les phénomènes en un nombre donné d'éléments, [Descartes, 1637], la complexité prend en compte les liens entre les éléments du système. « Le principe de complexité est [...] un principe qui consiste à relier – à distinguer, mais à relier- les objets » selon Edgar Morin [Morin, 1990].

La complexité est envisagée de multiples manières. D'un côté, il peut s'agir "d'un mot commode pour masquer le renoncement à l'analyse scientifique, au profit de la globalisation et du discours incontrôlable" [Brunet et al., 1993] mais ""Penser la complexité" [Morin, 1977] est un devoir du géographe moderne ou postmoderne, et passe par des procédures de recherche élaborées" [Brunet et al., 1993]. De fait, de nombreuses définitions ont été proposées. Elles renvoient d'abord aux difficultés de construction des connaissances : "la complexité est un ordre dont on ne connaît pas le code" [Atlan, 1986] ou "la complexité est le nombre d'interprétations non équivalentes qu'un observateur peut se faire d'un système" [Livet, 1983].

La variété est également un trait de la complexité : « de la façon la plus immédiate, le sentiment de complexité naît d'abord de la rencontre d'un grand nombre d'éléments constitutifs différents » [Atlan, 1986]. Cependant, la complexité n'est pas le désordre, autrement dit, elle se distingue de l'extrême variété incompréhensible. Mais elle n'est pas non plus absolument régulière ou redondante. Finalement, « entre ces deux extrêmes, entre une complication redondante et une variété sans structure, entre l'ordre et le désordre, se trouve la voie étroite de la complexité » [Donnadieu and Karsky, 2002].

Ce positionnement épistémologique relie de nombreux champs disciplinaires des mathématiques à la psychologie. En effet, une fourmilière relève de la complexité autant que le cerveau humain ou l'organisation urbaine. S'il n'existe pas de définition de la complexité qui s'adapte à toutes ces situations, certains traits communs théoriques permettent de mesurer la complexité [Lloyd, 2001] et de progresser dans la compréhension des problèmes posés par

la complexité des organisations [Weaver, 1948]. Des concepts communs ont été définis et permettent de créer une démarche transdisciplinaire.

Notions clés entre systémique et sciences de la complexité

Bifurcation Dans les années 1980, des structures, dites « dissipatives », sont théorisées. Il s'agit de structures qui évoluent grâce à la succession de points de bifurcation, c'est-à-dire de points de changement structurel : « on appelle bifurcation le point critique à partir duquel un nouvel état devient possible » [Prigogine and Stengers, 1986]. Ainsi la bifurcation correspond au moment où le système évolue vers un nouvel état d'équilibre qui peut modifier sa structure ou ses qualités. Ce type de structure est découvert en chimie et permet de comprendre les changements d'état de la matière.

Emergence L'émergence correspond à « des qualités et des propriétés qui apparaissent une fois que l'organisation du système vivant s'est constituée, qualités qui n'existaient évidemment pas au niveau des parties telles qu'elles se présentaient isolément » [Morin, 2005]. Les éléments du système pris séparément ne disposent pas des mêmes qualités que le système pris dans sa globalité. Cette dernière remarque est applicable tant aux systèmes physiques qu'aux systèmes sociaux [Morin, 1977].

Rétroaction La conservation d'un système et son changement, phénomènes en apparence opposés, relèvent d'un même processus qui repose sur l'articulation entre boucles de rétroaction négative et boucles de rétroaction positive [Donnadieu and Karsky, 2002].

Guillaume Deffuant et al. dégagent trois visions de la complexité qui structurent le champ de recherche sur les systèmes complexes [Deffuant et al., 2015]. En posant la complexité comme une question de connaissance, ils s'appuient sur l'idéal de Laplace de la connaissance parfaite : une intelligence pour qui "rien ne serait incertain [...], et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux" [Laplace, 1814]. La première vision qu'ils proposent est constituée par des systèmes qui résistent à cette intelligence [Deffuant et al., 2015]. Autrement dit, ils évoluent de façon imprévisible (mécanique quantique, modèles mathématiques sensibles aux conditions initiales, machine de Turing, phénomènes d'émergence et relation micro / macro). La seconde vision de la complexité, plus récente, est portée par les développements

techniques de l'informatique [Deffuant et al., 2015]. Elle est constituée de recherches qui intègrent le plus de données possible pour l'étude d'un système. En mobilisant des champs disciplinaires différents et un grand nombre d'informations, la complexité réside dans la difficulté de maîtriser ces modèles. Ce champ de recherche est encore en construction. La troisième vision de la complexité correspond à la modélisation de la subjectivité et ses effets collectifs [Deffuant et al., 2015]. En tant que science humaine et sociale, la géographie que nous pratiquons s'intègre dans cette troisième vision de la complexité. Les défis qui sont posés par cette complexité du sujet et de la société rejoignent les questions du statut scientifique de la subjectivité et des méthodes à utiliser pour la modéliser. Les questions autour de l'émergence ou des quantités de données utilisables ne sont pas étrangères à ces réflexions. Pourtant le débat reste ouvert sur le caractère spécifique de la complexité humaine : est-elle réellement formalisable ? avec ou sans mathématiques ? quelles méthodes nouvelles pourraient être utilisées ? [Deffuant et al., 2015]

L'intérêt du positionnement au sein des sciences de la complexité est double pour un géographe. "Entre le point de vue holistique et le point de vue réductionniste, il y a place pour de nombreuses positions intermédiaires" [Sanders, 1992]. En effet, les systèmes complexes intègrent plusieurs échelles d'analyse. Les relations individus / société intègrent plusieurs dimensions spatiales du micro au macro. Le comportement des systèmes complexes dépend de phénomènes localisés et de processus d'émergence. Les entités géographiques peuvent être considérées comme le résultat de processus généraux dont la particularité est liée aux paramètres de la situation initiale, dont fait partie la localité [Pumain, 2007]. L'appréhension des systèmes spatiaux peut dépasser tout déterminisme historique ou géographique pour intégrer des interactions complexes.

Dans ce contexte, nous avons tenté de dégager des principes et un positionnement afin d'orienter la construction de nos modèles. Influencée par l'individualisme méthodologique complexe [Dupuy, 2004]⁹, nous souhaitons nous orienter vers une géographie phénoménolo-

9. En sciences sociales, l'individualisme méthodologique complexe propose de dépasser les apories du holisme et de l'individualisme en mettant l'accent sur les boucles de rétroaction qui unissent individus et société, micro et macro [Dupuy, 2004]. Le raisonnement holiste s'appuie sur un niveau d'explication ultime : le tout. Cette entité collective serait la cause et la finalité de l'ordre. Dans un raisonnement individualiste, l'univers est composé d'éléments de base indivisibles : des atomes, ceux-ci ne communiquent pas entre eux. Pourtant, un ordre émerge. Son origine est donc exogène : un ordre préétabli, le destin, Dieu ... Dans les deux cas, l'univers ou la société sont considérés comme des structures centrées et organisées par un point fixe. La disparition de ce dernier, sa déconstruction [Derrida, 1967], revient à créer le désordre. Or considérer simplement que l'univers est un désordre sous prétexte de la remise en question de l'existence de Dieu ou du Destin revient à renoncer à comprendre. Ainsi, Dupuy propose de considérer l'existence d'un point fixe endogène dans l'émergence de l'ordre, et du désordre [Dupuy, 1998]. La structure globale du système, qu'elle soit ordonnée ou désordonnée, peut ainsi être considérée comme le résultat d'un même processus, mais avec des points fixes endogènes différents. Finalement, le système

gique [Bonney, 2005] et spinoziste [Citton and Lordon, 2008]. Ainsi, si l'individualisme méthodologique complexe nous permet de conceptualiser les interactions entre les différentes échelles, les dimensions phénoménologiques et spinozistes nous conduisent à appréhender l'individu et ses comportements au-delà de l'*homo oeconomicus*. Nous considérons nécessaire le dépassement de la grille de lecture de l'économie néo-classique qui pose un individu rationnel aux choix issus de calculs de rentabilité. Nous préférons envisager l'individu comme issu de processus constitutifs, inscrit dans un espace et dans une trajectoire [Citton and Lordon, 2008]. Cette démarche est également phénoménologique dans le sens où nous tentons d'intégrer les phénomènes et leurs perceptions, à la recherche d'un équilibre entre données objectivées et ressentis [Bonney, 2005].

Cette question centrale de la complexité humaine nous pousse à définir comment appréhender l'individu. Une fois posés les jalons de notre réflexion sur ce thème, la question des organisations se présente à nous. Notre thématique de recherche s'intéresse aux transports collectifs artisanaux. Il s'agit de systèmes de transports qui reposent sur de microentreprises et laissent une grande autonomie aux équipages de véhicules. Ainsi les systèmes de transports artisanaux sont des systèmes complexes du fait de leur grande variété d'éléments et d'interactions, mais également de par leur dimension humaine, sociale.

Auto-organisation

L'auto-organisation est une des caractéristiques des systèmes complexes. Pour notre travail, il s'agit d'un concept central. Le préfixe d'origine grec « autos », traduit par « soi-même », renvoie au rôle important de l'individu. L'auto-organisation devient l'organisation par soi-même ou autrement dit l'organisation faite par ses éléments. Dans ce cas, l'organisation est un phénomène endogène. L'idée que la nature tend à l'ordre plutôt qu'au désordre trouve son origine dans l'approche analytique développée par Descartes [Descartes, 1637]. Ainsi, l'ordre créé par ses éléments semble relever de la loi naturelle cartésienne dès le XVII^{ème} siècle. Mais le premier à employer le terme d'auto-organisation serait William Ross Ashby au XX^{ème} siècle, biologiste et mathématicien anglais, participant actif de l'école de la seconde cybernétique [Ashby, 1947]. Ce mouvement scientifique analyse des systèmes qui ont la particularité de pouvoir agir sur eux-mêmes [Foerster, 2002]. Il introduit ainsi la notion

évolue par bifurcations et des structures plus ou moins stables émergent à la suite du déplacement du point fixe. Ce dernier est endogène, c'est-à-dire qu'il est inclus dans une boucle de rétroaction avec les éléments du système et la structure elle-même. Ce point fixe endogène est le fondement de l'individualisme méthodologique complexe. Il permet de conceptualiser un rapport aux constructions sociales qui ne soit ni holiste ni individualiste. Autrement dit, les processus en jeu entre les différents niveaux de complexité créent eux-mêmes les attracteurs étranges qui pèsent de bifurcations en bifurcations.

d'autonomie qui permet de dépasser l'idée de contrôle qui est le paradigme de la première cybernétique [Proulx, 2003]. H. Von Foerster observe ainsi comment se crée un nouvel état d'équilibre sans intervention extérieure [Dumouchel, 1983]. Il s'agit de comprendre comment des systèmes sont capables de s'organiser d'une manière qui échappe à l'observateur et à la prédiction. Les structures auto-organisées telles qu'elles sont envisagées par la seconde cybernétique se rapprochent de la vision de Kant des fins naturelles expliquées par Gertrudis Van de Vijver. « L'auto-organisation c'est un problème d'organisation qui mène à un problème de connaissance objective » [Vijver, 2004]. Il s'agit d'un concept liant le connu et l'inconnu, la réponse à l'organisation dont on ne comprend pas les règles au premier abord. En ce sens, l'auto-organisation est indissociable de la complexité. Dans les années 1970, les théories de l'auto-organisation sont utilisées en physique, chimie et biologie. L'idée centrale est que les mouvements spontanés de la matière ne mènent pas à l'indifférenciation mais à un nouvel ordre. Cela implique que la matière s'auto-organise [Maturana and Varela, 1980] [Atlan, 1986].

En sciences sociales, l'élément de base du système devient l'individu ou le groupe d'individus. La transposition à la société des réflexions produites en sciences dures pose le problème de comprendre l'action individuelle. Si pour des systèmes physiques, chimiques ou biologiques l'action des éléments est soumise aux lois de la matière, l'action humaine est liée à beaucoup d'autres paramètres.

Socialement, les questions d'auto-organisation s'appliquent uniquement dans le cas de l'absence d'une autorité centralisatrice. Celle-ci permettrait l'apparition d'un ordre exogène, créé par planification et concertation. Dans le cas de l'auto-organisation, il s'agit plutôt d'une organisation qui ne résulterait pas d'une volonté concertée. Selon Adam Ferguson, penseur classique écossais, « l'ordre social est le résultat de l'action des hommes et non de leurs desseins » [Ferguson, 1767]. Cela implique que l'action individuelle crée l'ordre social sans le vouloir. C'est particulièrement applicable dans le cas de systèmes auto-organisés. Afin de comprendre les processus sociaux d'auto-organisation, il est donc nécessaire de placer notre analyse à l'échelle de l'individu. Dans ce contexte, deux paradigmes principaux s'opposent. Le premier est issu de l'économie classique et néoclassique [Smith and Diatkine, 1764] [Hayek, 1960] [Nemo, 2002]. Il considère l'individu comme rationnel et agissant constamment dans l'objectif de maximiser son profit au moyen de calcul de rentabilité. Le deuxième paradigme que nous avons identifié remet en question la rationalité de l'individu et considère qu'il agit du fait de nombreuses influences. Les contextes institutionnels et sociaux sont primordiaux [Chanteau et al., 2016] [Postel et al., 2009].

En économie classique, les comportements individuels sont appréhendés par un certain nombre de théories. Une des plus utilisées est la théorie des jeux [Olstom, 2010]. Les travaux sur la théorie des jeux formalisent les processus de choix individuels [Von Neuman and Morgenstern, 1944]. La théorie des jeux pose des hypothèses importantes concernant la logique des stratégies individuelles. « L'hypothèse fondamentale de la théorie des jeux est celle qui stipule que chacun cherche à maximiser ses gains » [Guerrien, 2002]. Ainsi les stratégies individuelles se construisent dans le but de maximiser l'intérêt de l'agissant. Les informations dont il dispose concernant son environnement au sens large, c'est-à-dire incluant les autres éléments du système et leurs actions sont aussi prises en compte dans le processus de décision. Le statut de l'information est là encore fondamental. En théorie des jeux, l'information peut être considérée comme complète, mais il s'agit de situations abstraites qui ne peuvent être transposées à la réalité. Pour étudier des situations réelles, il faut considérer que l'information dont disposent les individus est incomplète, mais qu'ils ont conscience des valeurs probables des variables inconnues. La construction de ces stratégies et leurs résultats sont formalisés par la théorie des jeux. Par exemple, le fameux « dilemme du prisonnier » permet de mettre en relation les différentes stratégies que peuvent employer deux joueurs et leurs résultats [Guerrien, 2002]. Les deux prisonniers ont plusieurs choix : avouer, nier ou ne rien dire. Leurs peines ne seront pas les mêmes en fonction de la réponse de l'autre. Si l'un avoue et l'autre nie, le premier aura une lourde peine et l'autre une peine plus légère. À l'inverse si les deux avouent ils auront deux peines importantes et si les deux nient, leurs peines seront légères. Ils doivent donc prendre en compte les actions probables de l'autre prisonnier pour maximiser leurs chances d'avoir une peine légère.

Cependant, d'autres façons de considérer l'individu peuvent être utilisées. Elles sont issues de l'économie mais également d'autres sciences sociales. Les individus peuvent être considérés comme influencés et situés, porteurs d'une historicité et appartenant à un contexte particulier qui oriente et limite leurs actions. Ainsi la construction de l'individu et de ses choix peut être envisagée en termes de "processus constituants" plutôt qu'en termes d'actions rationnelles et autonomes [Citton and Lordon, 2008]. Une telle prise en compte de l'individu remet en question les hypothèses fondamentales de l'économie néo-classique et provoque de virulents débats chez les économistes [Lee, 2011]. Il s'agit d'accepter les dimensions relationnelles de la réalité humaine. Celle-ci est constituée de rapports entre individus qui sont eux-mêmes des "rapports de rapports" [Deleuze, 1968]. Dans cette conception, l'individu est en perpétuelle évolution du fait des relations qui le constituent et qu'il entretient avec le monde. En tant que géographes, nous pouvons considérer que l'individu se développe en interaction constante avec son environnement, au sens large. "Les hommes sont des "animaux dénaturés" qui modifient

la terre en se modifiant : pour nous des Homo geographicus" [Reymond, 2009].

En pratique, la particularité de l'auto-organisation en sciences sociales réside dans l'absence de centralisation des actions individuelles dans la constitution et la gestion du système. Une telle approche doit prendre en compte les représentations que les individus ont du système et les stratégies qu'ils vont mettre en place en fonction de cette information. L'action individuelle doit être considérée comme liée logiquement à l'information disponible sur l'état du système.

En géographie, les questions d'auto-organisation ont été abordées par le prisme des systèmes spatiaux, particulièrement des systèmes de villes. Ces structures sont définies comme des "formes urbaines, construites "involontairement" par le jeu d'acteurs qui ajustent continuellement leur comportement en fonction des interactions qu'ils ont entre eux et des changements de conditions intervenant dans l'environnement de la ville constituent ce que l'on appelle un "phénomène d'auto-organisation"." [Pumain et al., 1989]. L'auto-organisation permet de considérer que chaque structure spatiale est le résultat d'une succession de bifurcations à partir d'une situation initiale particulière et ainsi respecter le caractère singulier du lieu tout en réfléchissant sur des processus généraux [Pumain, 2007]. La théorie s'adapte aux lieux et nous sommes dans un perpétuel aller-retour entre la réalité des phénomènes et leur abstraction. L'auto-organisation en géographie permet une démarche de théorisation. Celle-ci s'intègre dans le courant théorique et quantitatif qui se développe depuis la seconde moitié du XX^{ème} siècle [Pumain and Robic, 2002].

L'apport de l'auto-organisation, et plus largement des approches complexes, en géographie réside en partie dans leur capacité à formaliser le changement d'échelle : « ces comportements peuvent produire par leurs interactions, à des échelons géographiques supérieurs, des formes nouvelles, des structures non intentionnelles, dont le contenu n'est ni programmé ni même pensé par les individus » [Pumain, 2001]. Finalement, il s'agit de théoriser l'absence de "chorégraphe invisible" [Kauffman, 1995]. Mais l'existence d'une volonté d'organisation ne doit pas être niée, notamment en ce qui concerne des processus sociaux et spatiaux qui peuvent faire l'objet de politiques incitatives ou coercitives. Ainsi, certains acteurs se donnent les moyens d'intervenir sur un phénomène sans pour autant le maîtriser ou le piloter. Par exemple, créer les conditions de la diffusion d'une innovation ne revient pas à définir la forme de cette diffusion [Daudé, 2004].

L'utilisation des théories de l'auto-organisation en géographie commence dans les années 1980 [Pumain et al., 1989]. Appliqué notamment à la modélisation de l'évolution des systèmes de villes, ce cadre méthodologique est formalisé par des systèmes d'équations différentielles

dans lesquels chaque équation traduit la variation des populations et activités de la ville [Sanders, 2014]. Aussi, depuis les années 1990, les concepts d'émergence et de processus génératifs [Epstein, 2006], où les interactions au niveau micro créent les structures au niveau macro, accompagnent l'essor des modèles orientés agents : automates cellulaires et systèmes multi-agents. L'auto-organisation et l'émergence sont deux concepts centraux de ces approches. Le premier se concentre sur la structure au niveau macro et le second sur le lien entre l'échelle micro et l'échelle macro. Ces deux paradigmes marquent une continuité dans la construction des modèles depuis plus de cinquante ans [Pumain and Sanders, 2013].

Ce positionnement dans les sciences de la complexité repose sur l'analyse de processus d'auto-organisation et d'émergence. Ainsi, l'individu a un rôle central dans notre approche. Dans ce contexte, le choix d'un paradigme concernant le sens à donner à cette définition élémentaire mène à une question méthodologique.

3.2.2 Appréhender la complexité

De l'agrégé à l'individu-centré

"Pour résumer, dans une approche synergétique les individus sont vus comme amenant une sorte de consensus dans leurs décisions, alors que dans une approche de micro-simulations les individus sont considérés dans leurs individualités et avec l'interdépendance de leurs biographies."¹⁰ [Sanders, 1999]. Finalement, le choix d'une approche individu-centrée plutôt qu'agrégée, quel que soit le niveau d'agrégation, répond à un besoin différent. Dans une approche individu-centrée, les interactions entre agents font émerger des structures au niveau supérieur et celles-ci deviennent des contraintes pour les individus. Alors qu'une approche agrégée revient à définir ces contraintes et à prévoir les réactions de groupes d'individus en fonction de probabilités. L'approche individu-centrée s'intéresse plus précisément aux particularités des individus [Sanders, 1999]. Techniquement, les catégories d'individus présentes dans un modèle agrégé et dans un modèle désagrégé sont quantitativement différentes mais assez peu qualitativement. En effet, dans un modèle agrégé des comportements types en fonction de l'appartenance à un groupe sont programmés. Pour un modèle désagrégé, les comportements sont implémentés en fonction des caractéristiques des individus, mais ces caractéristiques correspondent à des types, qui forment des groupes comme pour le modèle agrégé, sauf qu'ils sont plus nombreux [Winder, 2000]. L'enjeu est donc de parvenir à construire des modèles

10. Traduction personnelle de : "To summarise, in the synergetic approach the individuals are seen as bringing out a kind of consensus in their decisions, whereas in microsimulation the individuals are considered in their individuality and in the interdependence of their biographies"

qui soient réellement désagrégés, c'est-à-dire où les actions individuelles sont indépendantes et se construisent par rapport aux trajectoires de chacun. Il est possible de développer une géographie phénoménologique qui s'intéresse à la fois aux phénomènes et à leur perception [Bonney, 2005]. Ce positionnement conduit naturellement à une démarche individu-centrée. L'idée est de cesser de considérer l'espace comme un support de grappes d'individus rationnels mais de tenter d'effleurer l'habitant, ses représentations et ses valeurs. Finalement, il s'agit de montrer « comment la diversité peut créer cet ordre [l'ordre du monde] » [Daudé, 2002].

Pour modéliser ces systèmes, nous utilisons les systèmes multi-agents. Cet outil informatique, que nous avons déjà évoqué, permet de créer de mini-programmes, les agents, qui agissent et interagissent dans un environnement défini par le modélisateur (Figure 3.25).

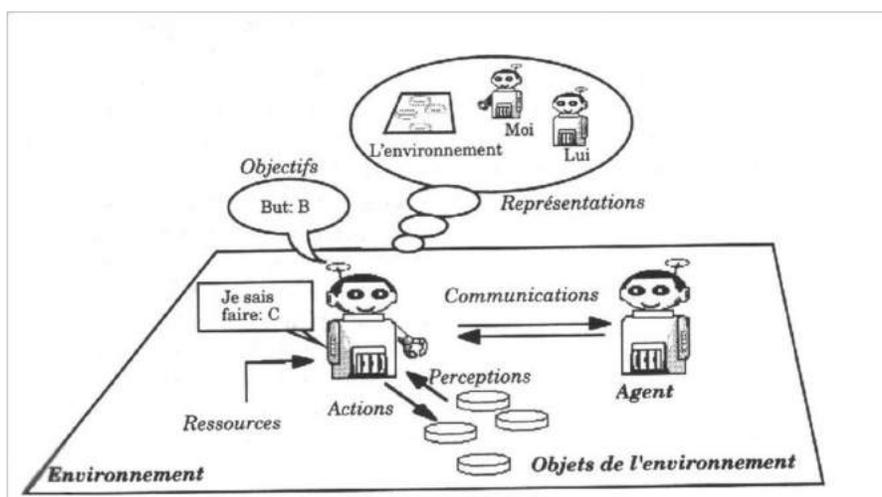


FIGURE 3.25 – Fonctionnement d'un système multi-agents [Ferber, 1997]

L'intérêt des systèmes multi-agents est de permettre la mise en œuvre de modèles individus-centrés. Le travail de modélisation se situe au niveau de l'élément de base du système [Amblard, 2006]. D'autre part, l'environnement peut prendre une place importante dans ces modèles et cette dimension est d'autant plus valorisable que nous nous intéressons à des phénomènes spatiaux [Banos et al., 2016]. La dimension heuristique de la démarche de construction du modèle reste valable [Banos, 2016]. Elle est accentuée par le défi technique que représente le passage à l'informatique et la nécessité d'échanger avec des techniciens issus de disciplines différentes. En outre, cet outil permet de créer une démarche expérimentale qui est rarement possible en sciences humaines [Simon, 1996].

Lorsqu'on travaille ainsi dans une démarche de modélisation, la question de la portée du modèle se pose. Ceux-ci sont à la fois particuliers, représentants du cas général, et singuliers,

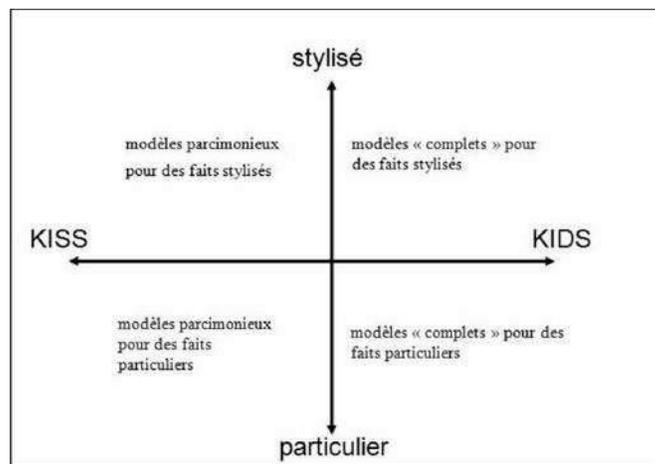


FIGURE 3.26 – Catégorisation des modèles [Banos and Sanders, 2012], cité par [Sanders, 2014]

défiants toute généralisation [Bouvier, 2011]. Dans le cadre de modèles explicatifs, le niveau de généralité doit être précisé : étudie-t-on un cas particulier ou singulier ? Quel niveau de généralisation cherche-t-on à atteindre ? Il semble qu'il existe un continuum du plus singulier au plus stylisé et généralisable [Sanders, 2014]. Les modèles peuvent également être jaugés selon leur degré de parcimonie. Autrement dit, leur rapport à l'objet étudié peut être plus ou moins distancié. Les approches KISS (*Keep It Simple, Stupid*) et KIDS (*Keep It Descriptive, Stupid*) s'opposent. Ainsi, les premiers affirment qu'une modélisation doit reposer sur des hypothèses simples pour être reproductible et compréhensible [Amblard et al., 2006] [Axelrod, 1997]. Les autres préfèrent des modèles descriptifs, utilisant le plus de données possible dans un objectif de prédiction. Ils mettent en avant le caractère peu explicatif des modèles KISS et soulignent l'importance de conserver au maximum les facteurs impliqués dans le phénomène étudié [Edmonds and Moss, 2004]. A. Banos et L. Sanders proposent une classification des modèles selon ces deux axes : le niveau de généralisation et de parcimonie [Banos and Sanders, 2012] (Figure 3.26).

Chaque catégorie de modèle répond ainsi à une utilisation particulière [Delay, 2015] :

- Les modèles parcimonieux pour des faits stylisés sont plus destinés à expliquer un phénomène et restent assez abstraits
- Les modèles "complets" pour des faits stylisés s'adaptent bien des approches participatives
- Les modèles parcimonieux pour des faits particuliers orientent facilement des projets d'aménagement

— Les modèles "complets" pour des faits particuliers s'utilisent pour prédire les évolutions d'un phénomène

Les différents modèles développés par le réseau MAPS¹¹ correspondent à ces différentes catégories et illustrent la diversité des possibilités offertes par les approches multi-agents [Sheeren et al., 2014]. Ce type de modèle a notamment été mis en place pour modéliser les déplacements dans les agglomérations françaises et européennes [Antoni and Vuidel, 2010], avec une prise en compte fine des comportements individuels [Antoni, 2012]. Le modèle d'A. Lammoglia s'intéresse aux taxis collectifs sénégalais et au transport à la demande en France à travers une modélisation multi-agents [Lammoglia et al., 2012]. Les systèmes que nous étudions sont différents des *clandos* dakarois. Cependant, la question de la modélisation individu-centrée du transport artisanal a déjà été posée. A. Lammoglia y répond par la construction de transports adaptatifs [Lammoglia, 2013]. Nous proposons de creuser la question de l'auto-organisation.

Du transport artisanal observé au transport auto-organisé modélisé

Dans une démarche abductive¹² nous cherchons à enrichir nos approches par l'observation du terrain et par notre culture scientifique. Notre démarche est donc basée sur des allers-retours permanents entre théorie et études de cas. Au cours de ce processus, la puissance du concept d'auto-organisation appliqué aux transports collectifs artisanaux s'est imposée [Audard et al., 2012].

La caractéristique qui nous intéresse est donc l'autonomie des équipages. Autrement dit, nous nous focalisons sur la capacité de choix des chauffeurs dans la construction du service

11. <http://maps.hypotheses.org/>

12. L'abduction est une forme de raisonnement qui a été théorisée par Charles Sanders Peirce (1839-1914). Aux côtés de l'induction et de la déduction, l'abduction est un troisième mode d'inférence qui permet de générer des hypothèses à partir d'information incomplète [Peirce and Deledalle, 2014].

À partir d'observations et de cas surprenants, les principes théoriques évoluent dans l'attente de nouvelles observations. Ainsi l'abduction permet d'enrichir continuellement la théorie de nouvelles hypothèses qui appellent des observations ultérieures. Le chercheur se place dans une démarche d'exploration des données afin de proposer des hypothèses plutôt que de les confirmer [Oliveau, 2011]. Cette forme de raisonnement se retrouve dans le processus de découverte par sérendipité [Roten, 2015]. Il s'agit de laisser une place importante à l'étonnement et à la créativité [Banos, 2013].

L'abduction est ainsi complémentaire de la déduction et de l'induction : elle permet d'étendre la théorie de manière pragmatique et créative tout en restant cohérent avec les principes existants. "C'est ainsi qu'une théorie transmet, dans une forme condensée, les observations accumulées par tous ceux qui ont fait des recherches. Lorsque nous comprenons une théorie, nous expérimentons un ensemble de ce que des investigateurs antérieurs ont vu et pensé." [Stiles, 2013].

Cette opération logique permet le développement de nombreux travaux basés sur des études de cas ou de vastes corpus de données tant en géographie [Borderon, 2016] qu'en psychologie [George, 1997], en linguistique [Carel, 2004], en littérature [?], en médecine [Weber et al., 1993] ...

de transport. L'organisation par soi-même n'est pas en soi une définition suffisante. Nous devons préciser quelles sont les relations entre les éléments de cette structure. Pablo Salazar Ferro propose une classification par la régulation des systèmes de transport [Salazar Ferro, 2014] : les transports "les plus artisanaux" seraient les moins régulés et l'augmentation de la régulation mènerait au transport institutionnel. Finalement, ce qui caractérise la "régulation" est la centralisation de l'organisation du service. Ces transports peuvent s'autoréguler, la régulation n'a pas besoin d'être externalisée.

Cette classification peut être relue en termes systémiques. La circulation de l'information caractérise le type de système. En effet, l'étendue de l'information disponible pour chacun des éléments de l'organisation conditionne fortement la structure. Les interactions au sein des systèmes auto-organisés reposent uniquement sur l'information limitée dont disposent les membres du groupe à propos de l'état du système. Dans le cas de transports auto-organisés, cette information est limitée par la perception de leur environnement direct, notamment pour estimer la demande, et les représentations de chacun de l'état général du système. Schématiquement, on pourrait proposer une échelle basée sur le degré d'homogénéité de l'information disponible pour chacun des membres de la structure. De l'auto-organisation à l'autogestion, il y a différents degrés qui caractérisent les systèmes non institutionnels.

L'auto-organisation extrême correspond à une information qui ne circule pas. L'autogestion serait l'autre extrême de l'échelle et correspond à une distribution la plus homogène possible de l'information [Castoriadis, 1979], permettant ainsi à tous les membres de la structure d'agir en "connaissance de causes", en fonction d'un but collectif. Par exemple, un service dont la réponse à la demande est à la libre appréciation du chauffeur est auto-organisé. Lorsque les membres du service se répartissent dans différentes zones après concertation le système se rapproche de l'autogestion. Une situation intermédiaire serait l'échange d'informations partielles entre certains équipages au cours de la journée pour se répartir dans leur voisinage immédiat. Le positionnement sur l'échelle de l'organisation de la desserte dépend des modalités de circulation de l'information.

Ces transports auto-organisés s'opposent aux transports institutionnels dont la centralisation technique répartit la desserte grâce à des études préalables : les équipages n'ont aucune autonomie. Ils diffèrent également légèrement des transports artisanaux dans le sens où l'atomisation de la propriété n'est pas une condition *sine qua non* de l'auto-organisation de la desserte. Ainsi de par l'absence de centralisation technique, d'institutionnalisation et de redistribution de l'information, les transports collectifs qui nous intéressent peuvent être qualifiés d'auto-organisés.

La notion d'auto-organisation qualifie un système dans sa globalité malgré le fait que les critères soient principalement définis au niveau des éléments. L'autonomie au niveau micro fait émerger une desserte globale dont nous étudions les caractéristiques. Les processus d'émergence et de rétroaction qui relient ces deux échelles dans un contexte d'information limitée sont au cœur de la structure mais ne sont pas des critères de définition des transports auto-organisés. En effet, les interactions entre les différentes échelles hiérarchiques et spatiales sont présentes dans tous les systèmes complexes. Ainsi, les systèmes de transports que nous étudions émergent à partir des interactions au niveau micro. Ils sont également auto-organisés du fait de l'absence de planification et de centralisation.

3.3 Conclusion du Chapitre 3

Les structures qui sont générées par les systèmes de transport artisanaux étudiés ont des caractéristiques particulières mais également des traits communs. En effet, à Lima comme à Brazzaville, les dessertes sont étendues mais pas homogènes. Ces caractéristiques ont été identifiées à l'aide de données issues de sources variées. Les stratégies individuelles qui sont liées à ces structures au niveau de l'agglomération ont été explicitées grâce à des enquêtes. Cependant, nous cherchons à comprendre le lien entre ces deux échelles.

Modéliser ces processus pose un certain nombre de défis. Les questions épistémologiques que nous avons soulevées précédemment nous amènent à construire un positionnement dans les sciences de la complexité. Nous voulons prendre en compte les liens et les interactions au sein d'un système ouvert et multiscalair. Les outils de la systémique sont prolongés techniquement par les possibilités de l'informatique à travers les systèmes multi-agents. Dans une approche individu-centrée, notre intention est de proposer une modélisation en rupture avec les théories de l'économie néoclassique qui considèrent l'individu comme rationnel et autonome.

À la suite de ces réflexions et de nos premières analyses des systèmes de transport artisanaux de Lima et Brazzaville, un défi technique se pose. Comment transposer notre compréhension de ces systèmes dans un langage informatique ? Cette question en traduit une autre, plus abstraite : comment modéliser et simuler sans trahir ? Nos choix de modélisation découlent de ces deux questions centrales.

CHAPITRE 3. UNE DÉMARCHE DE GÉOGRAPHIE DYNAMIQUE

Chapitre 4

Modélisations appliquées : l'adaptation des transports artisanaux à leurs contextes urbains

Ce chapitre a pour objectif de présenter les modèles multi-agents appliqués¹ développés au cours de ce travail. Grâce à l'analyse par des méthodes qualitatives et quantitatives nous avons pu définir les structures spatiales émergentes des systèmes de transport de Brazzaville et Lima. Nous souhaitons maintenant mettre en relation les stratégies des différents acteurs du transport artisanal avec ces structures spatiales. Les modèles cartographiques et les méthodes d'analyse quantitative et qualitative utilisées jusqu'à présent ont permis de formaliser un certain nombre de processus. Nous souhaitons focaliser notre attention sur les interactions et les structures émergentes. Il devient nécessaire de passer d'une modélisation statique à une modélisation dynamique, en utilisant les systèmes multi-agents. Ils permettent à la fois de formaliser différemment les processus identifiés précédemment et de "plonger les modèles dans le temps" par la simulation [Coquillard and Hill, 1997]. Dans les chapitres suivants, nous développerons une approche expérimentale² fondée sur plusieurs modèles

1. Les modèles peuvent être hiérarchisés en fonction du degré de simplification de la réalité qu'ils proposent (voir Chapitre 3, paragraphe 3.2.2 et particulièrement la Figure 3.23). Les modèles de ce chapitre ont pour objectif d'être le plus fidèles possible aux observations réalisées à Brazzaville et Lima. Pourtant ce ne sont pas des modèles opérationnels, dans le sens où ils n'ont pas pour finalité l'aide à la décision ou la réponse à un problème d'aménagement particulier. Nous avons donc choisi le terme d'"appliqué" pour désigner ces modèles qui proviennent des cas particuliers de Lima et Brazzaville, sans être pour autant directement opérationnels.

2. L'expérimentation en sciences humaines est difficile à mettre en œuvre, voire impossible sans avoir recours à la simulation [Langlois and Reguer, 2005]. Nous cherchons donc à constituer un "laboratoire virtuel" [Batty and Torrens, 2001] : il s'agit de construire pas à pas un modèle nous permettant ensuite de tester un certain nombre d'hypothèses.

multi-agents. La démarche expérimentale suivie sera explicitée dans un premier temps. Puis nous présenterons les modèles des systèmes de transport artisanaux de Lima (LimaBus) et Brazzaville (BrazzaBus). Les choix effectués lors de la construction de ces modèles seront présentés avant les résultats des simulations.

4.1 Démarche expérimentale

Dans l'objectif de comprendre quel est le lien entre les structures et dynamiques des transports collectifs artisanaux, les stratégies individuelles et la structure urbaine, nous avons développé une démarche expérimentale basée sur plusieurs modèles (Figure 4.1).

Dans un premier temps, nous avons défini les caractéristiques des transports artisanaux qui reposent sur la gestion des itinéraires et sur la gestion des fréquences (voir Chapitres 2 et 3). Une fois ces deux modes de fonctionnement analysés, nous proposons de les modéliser en utilisant des systèmes multi-agents. Deux modèles ont ainsi été élaborés : LimaBus et BrazzaBus. Grâce à ces deux modèles, nous pouvons juger de la pertinence de notre modélisation des stratégies individuelles. Ils nous amènent à observer les structures émergentes et leurs caractéristiques dans les cas particuliers de Lima et Brazzaville. Le parti pris très appliqué de ces deux modèles contraint un certain nombre de paramètres qui sont indexés sur la réalité. Ces premiers modèles sont principalement utiles pour confronter nos simulations au terrain. Ils nous permettent également de mieux comprendre le fonctionnement des stratégies des différents agents du transport artisanal. À partir de cette première série de simulation, de nouvelles hypothèses sont apparues.

Dans un second temps, nous proposons de plonger ces systèmes de transport dans des contextes urbains théoriques afin de jauger l'importance d'autres paramètres liés à la structure urbaine. Une telle démarche produit une deuxième série de modèles, plus abstraits. Ils seront présentés dans le chapitre suivant. Les contextes urbains testés à cette étape nous permettent de faire varier d'autres paramètres et de tester l'influence du contexte autant que de la stratégie des équipages de véhicules. Les résultats de ces simulations alimentent une nouvelle fois notre réflexion et conduisent à hiérarchiser les différents paramètres qui influencent les structures émergentes.

4.1.1 Nos hypothèses

Cette démarche repose sur un incessant aller-retour entre les modèles et le réel. Ainsi la modélisation s'est construite progressivement. Les hypothèses de départ ont été amendées et

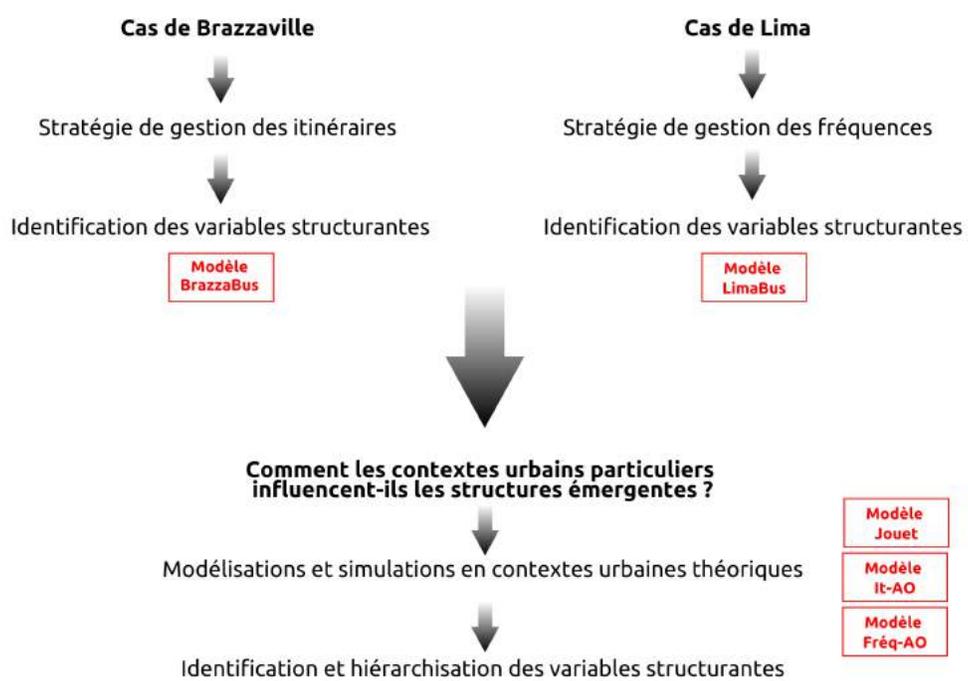


FIGURE 4.1 – Schéma de notre démarche globale

de nouvelles hypothèses sont apparues au cours du processus. Notre problématique générale consiste à identifier les éléments structurants des caractéristiques émergentes des transports artisanaux. Notre première hypothèse de travail est l'influence des stratégies individuelles des différents acteurs du transport. Ainsi, nous souhaitons jauger l'influence des stratégies individuelles sur les structures et les dynamiques de la desserte dans les transports artisanaux. Nos enquêtes ont montré le caractère central des choix des équipages de véhicule dans la construction du service. Ainsi nous proposons d'éclaircir le lien entre ces stratégies et l'efficacité du système. Deux types d'efficacité sont mis en avant ici : le rendement, en termes d'usagers desservis, et la répartition spatiale, plus ou moins homogène, de la desserte³. Cette première série de modélisation a principalement pour but de comprendre ce lien multiscalaire.

Au terme de notre première série de modélisation et de simulation, il semble que le contexte urbain ait également une influence. Nous vérifierons donc cette hypothèse dans un second temps.

4.1.2 Protocole expérimental

	Élaboration	Tests
Modèles Appliqués	Intégration des données d'enquête Calibration	Confrontation des résultats aux données collectées Tests de sensibilité
Modèles Abstraits	Intégration de contextes urbains théoriques Calibration	Tests de sensibilité

FIGURE 4.2 – Tableau récapitulatif du protocole expérimental

Les systèmes multi-agents ont l'avantage de permettre la mise en place d'une approche expérimentale en sciences humaines. Dans notre cas, il s'agit de travailler sur l'auto-organisation des transports collectifs. Nous avons identifié deux types de stratégies qui sous-tendent des systèmes différents. Notre démarche est structurée autour de deux séries de modèles (Figure 4.2). Les modèles appliqués intègrent des données d'enquête et les résultats sont confrontés à nos observations de terrain. Les modèles abstraits sont mis en place par la suite pour explorer de nouvelles hypothèses.

3. Ces deux types d'efficacité correspondent aux deux variables de sortie qui permettent d'observer le comportement du système. Elles sont plus amplement présentées en partie 4.4.1

4.1.3 Quelle plateforme choisir ?

Nous utilisons la plateforme *Netlogo* [Wilensky, 1999] pour nos modèles. Il s'agit de la plateforme la plus utilisée aujourd'hui dans un contexte pédagogique comme scientifique [Banos et al., 2015]. Cette plateforme a l'avantage d'être accessible sans une formation poussée en informatique. Le nombre important d'utilisateurs à travers le monde facilite également la résolution rapide des problèmes techniques. Il existe d'autres plateformes telles que *MAGéo*, *GAMA*, *Cormas* ou *Repast*. Chacune de ces plateformes a des particularités qui les rendent plus adaptées à certains types de modèles [Taillandier, 2015]. *Repast* permet de modéliser un très grand nombre d'agents, mais les compétences en informatique nécessaires sont trop importantes pour nous [Chen et al., 2008]. *Cormas* est conçu pour les méthodes participatives [Le Page et al., 2012]. *MAGéo* passe par une implémentation graphique du modèle, ce qui la rend très accessible [Langlois et al., 2013]. *GAMA* est particulièrement adaptée pour intégrer des données géographiques [Taillandier et al., 2014]. Nous avons classiquement choisi *Netlogo*, mais nos modèles pourraient tout aussi bien être adaptés sous *GAMA*.

4.1.4 La démarche ODD pour présenter nos modèles

La démarche ODD⁴ permet de présenter les modèles multi-agents de manière claire et pédagogique [Grimm et al., 2006] [Polhill et al., 2008] [Grimm et al., 2010]. Ce protocole en trois temps dissocie les concepts utilisés et la formalisation du modèle de son implémentation. Une telle approche permet aux non-initiés du langage informatique de s'appropriier le modèle et ses objectifs. D'autre part, il existe plusieurs plates-formes de modélisation multi-agents et ce langage permet de dépasser les contraintes posées par l'utilisation de l'une ou l'autre. La description de modèles par la méthode ODD a d'abord été élaborée en écologie [Grimm et al., 2006]. Elle s'appuie sur trois étapes. La "Vue d'ensemble" (*overview*), qui donne les objectifs généraux, est suivie de la catégorie "Concepts principaux" (*design concepts*) qui éclaire les principes de fonctionnement. Les "Détails" (*details*) permettent d'entrer plus précisément dans le modèle et d'expliquer les choix de modélisation. Des étapes supplémentaires ont été ajoutées à cette méthode par Birgit Müller et son équipe [Müller et al., 2013] afin de mieux décrire les processus de décisions humains.

4. Acronyme de *Overview, Design Concepts, Details*, qui sont les trois grandes étapes du protocole de présentation des modèles.

4.2 Présentation du modèle BrazzaBus

4.2.1 Vue d'ensemble

Objectif

L'objectif du modèle est de caractériser les structures et les dynamiques spatiales des transports collectifs artisanaux de la ville de Brazzaville. Sachant que ces transports collectifs ne sont pas centralisés, nous postulons que les stratégies individuelles des équipages de véhicules sont particulièrement responsables des caractéristiques du système de transport émergent. Ces stratégies font émerger des structures spatiales stables. Ces dernières restent dynamiques et évoluent en fonction de certains paramètres.

Entités, variables, échelles

Les entités Le modèle est composé de 4 types d'entités : les agents-bus, les agents-usagers, les arrêts et les liens qui définissent l'environnement (Figure 4.3)⁵. Les agents-bus, qui correspondent aux véhicules de transport collectif, sont la base de notre modèle. Ce sont eux qui mettent en œuvre les stratégies des équipages de véhicules que nous avons observées. Le modèle contient également des agents-usagers qui cherchent à aller d'un endroit à un autre. L'environnement de notre modèle est basé sur un graphe composé d'arrêts de bus reliés entre eux par des liens. Les interactions entre usagers et bus ont lieu aux arrêts et la circulation emprunte les liens entre les arrêts.

Les variables d'état des entités Les agents-bus ont des caractéristiques fixes, issues d'enquêtes. Ils ont un nombre de places défini : 16, nombre observé, et un arrêt d'origine qui correspond à leur arrêt d'apparition. Ils ont également des variables qui évoluent au cours de la simulation : le nombre d'usagers à bord, les bénéfices accumulés depuis le début de la simulation, les prochains arrêts à desservir et les arrêts déjà desservis. La mémoire des arrêts déjà desservis prend la forme d'un classement en fonction des bénéfices réalisés à cet endroit.

Les agents-usagers ont des caractéristiques fixes uniquement. Ils ont une origine et une destination. Le cas échéant, ils ont également une liste des arrêts où ils peuvent effectuer une correspondance. Les variables, heures d'arrivée à l'arrêt, temps d'attente et temps de trajet sont également complétées au cours de la simulation.

5. UML : Acronyme de *Unified Modeling Language*. Il s'agit d'un langage unifié qui fournit une méthode normalisée pour visualiser la conception d'un système. Ce langage de modélisation graphique est couramment utilisé en développement logiciel.

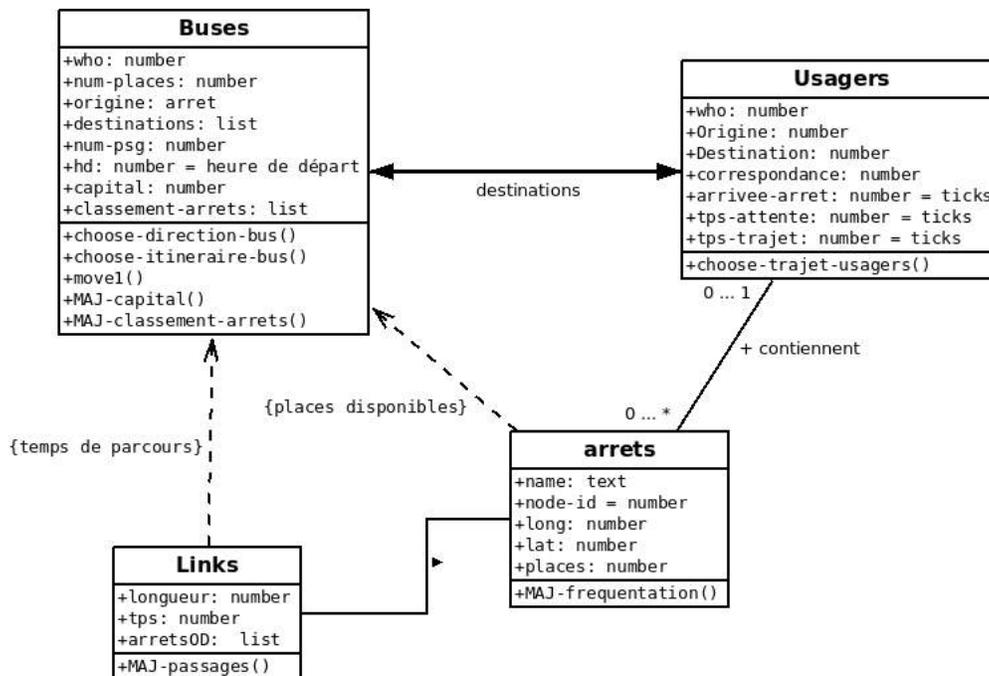


FIGURE 4.3 – Diagramme UML du modèle BrazzaBus

Les arrêts de bus ont une localisation basée sur des coordonnées et une capacité de parking limitée. Les liens entre les arrêts représentent les routes où circulent les bus. Ils ont des attributs de temps de parcours qui sont calculés à partir de la distance réelle entre les deux arrêts et la vitesse moyenne de circulation en ville. Le réseau est donc spatialement hétérogène. Certaines routes sont plus longues à parcourir que d'autres (Figure 4.4) et certains arrêts plus ou moins grands (Figure 4.4).

Les variables générales Les variables générales du modèle concernent le prix du kilomètre et le prix du temps. En effet, pour intégrer les embouteillages, nous avons dû quantifier le coût d'une unité de temps pour les bus : celle-ci correspond au prix de la location du véhicule et des taxes rapportées au pas de temps. De la même manière nous avons quantifié le prix du kilomètre afin d'intégrer les coûts d'opération du service dans les stratégies des bus.

L'échelle temporelle Puisque nous nous intéressons à un système de transport intra-urbain et à des déplacements quotidiens, nous avons opté pour un pas de temps⁶ d'une minute. Il

6. Nos modèles se déroulent en temps discret. Le temps des simulations est découpé en "pas de temps" qui correspondent à l'unité de mesure de chaque intervalle de temps. Par exemple, un équivalent courant du "pas de temps" serait le battement d'un métronome en musique.

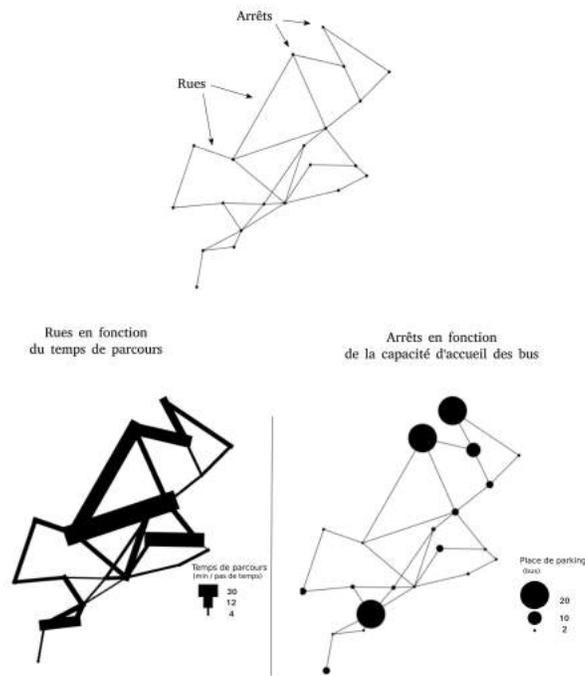


FIGURE 4.4 – Configuration de l’espace pour le modèle BrazzaBus

permet de se placer au plus près de la desserte en transport collectif qui se construit d’arrêt en arrêt. Nous pouvons ainsi observer la construction de la desserte tout au long de la journée.

L’échelle spatiale Notre espace d’étude est centré sur la ville de Brazzaville. Nous modélisons le système de transports collectifs de Brazzaville. L’environnement de simulation correspond principalement à ce réseau de 21 arrêts de bus reliés par 535 kilomètres de rues. Ces arrêts de bus sont localisés dans un espace abstrait de $80 * 100$ *patches* (unités spatiales carrées de *Netlogo*). Les coordonnées de ces arrêts de bus sont issues des coordonnées GPS relevées sur le terrain et converties dans ce nouvel espace.

Processus et ordonnancement

Le modèle BrazzaBus a pour objectif de mettre en évidence les structures spatiales et les dynamiques de la desserte en transports collectifs issue des interactions dans un système de transport artisanal auto-organisé. Ce modèle intègre de nombreuses données collectées sur le terrain. Il est divisé en sous-modèles (Figure 4.5) :

- Sous-modèle du choix des itinéraires (1), basé sur l’interaction entre les agents-bus et les agents-usagers qui alimente le processus de choix des destinations ;

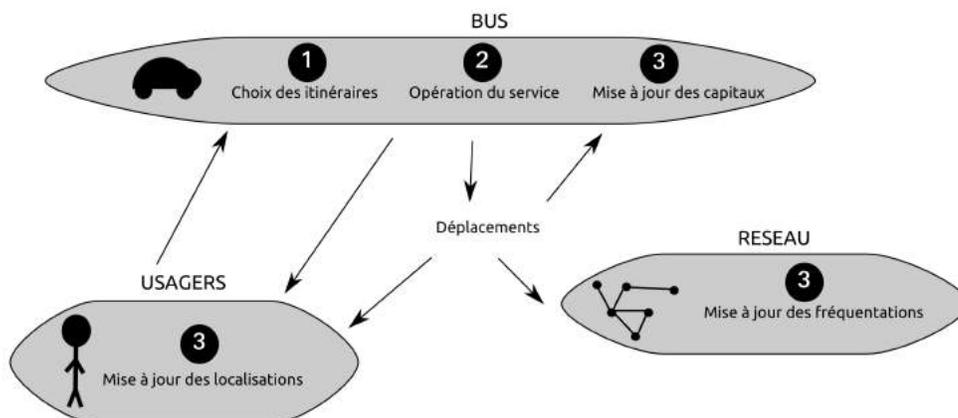


FIGURE 4.5 – Organisation des processus pour le modèle BrazzaBus

- Sous-modèle de l'opération du service (2) qui constitue la mise en œuvre concrète du transport collectif avec l'embarquement des passagers, le déplacement et le débarquement des passagers ;
- sous-modèle de la mise à jour des variables (3) économiques pour les agents-bus et des variables de fréquentation et localisation pour les usagers, arrêts et routes.

4.2.2 Concepts d'élaboration

Contexte théorique et empirique

Ce modèle nous permet d'observer comment des structures spatiales et une desserte dynamique émergent de l'auto-organisation des transports artisanaux. La spécificité de BrazzaBus est de mettre l'accent sur l'aspect collectif et auto-organisé de ces systèmes : les besoins de déplacement des usagers sont agrégés par les bus. Il s'agit pour nous de modéliser un système de transport qui ne repose sur aucune centralisation, mais sur la construction de stratégies par les équipages de véhicules. Ces stratégies sont construites de proche en proche et en perpétuelle évolution.

Processus de décisions

Les seuls processus de choix en jeu concernent les agents-bus. Ils doivent choisir leur destination. Dans un premier temps, ils prennent en compte les destinations des usagers présents à l'arrêt de bus. La destination la plus demandée sera desservie en priorité. Cependant,

de nombreuses destinations sont en concurrence avec un même nombre d'usagers. Dans ce cas, les bus vont faire appel à leur classement des arrêts de bus et choisir celui qui est le mieux classé. Ce classement se construit en fonction des bénéfices moyens générés au cours de la desserte. Ainsi, quand un bus se rend à un arrêt il fait la moyenne de ses bénéfices avec la moyenne des visites précédentes. Le classement de chaque arrêt se construit en affinant le score tout au long de la simulation. Le calcul des bénéfices prend en compte les tickets payés par les usagers, les coûts liés à la circulation et au temps éventuellement passé dans les embouteillages. L'arrêt d'origine du bus dispose d'un score de base plus élevé pour matérialiser l'attachement au quartier. De façon plus globale, la représentation du réseau favorise les arrêts déjà visités.

Réaction aux conditions extérieures

Les agents interagissent uniquement avec leur voisinage. Ils n'ont donc aucun échange avec l'extérieur du système. Les variations des cours du pétrole ne sont pas plus prises en compte que la situation géopolitique du Congo. La limite d'interaction des agents se situe au niveau de leur voisinage immédiat : ils n'interagissent pas avec un bus situé à l'autre bout de la ville.

Interaction

Les agents-bus construisent leur stratégie et leur représentation du réseau de proche en proche. Ils sont cependant également considérés comme un groupe en interaction avec leurs voisins : ils agissent sur / avec les usagers en prenant en compte leurs destinations. Ils interagissent de manière indirecte avec les autres bus puisqu'ils attendent que des places se libèrent aux arrêts de bus. Mais ils n'échangent pas d'informations. Finalement, les bus sont en concurrence passive les uns avec les autres : ils se repoussent mécaniquement.

Hétérogénéité

Nous avons vu que les usagers, les arrêts et les liens sont hétérogènes puisque chaque agent a des caractéristiques propres. L'hétérogénéité entre les agents-bus vient de leur arrêt d'origine et de leur construction progressive d'une représentation du réseau. Chacun aura sa propre expérience de desserte qui construit un classement original.

Stochastique

Lorsqu'un bus doit choisir entre plusieurs arrêts de destination qui ont la même demande et le même classement, il les départage en tirant au hasard. Les usagers ont également une part d'aléatoire dans le choix de leurs destinations. Lorsque la demande n'est pas générée à partir de nos données d'enquête, les usagers se voient attribuer au hasard un couple origine / destination.

Observation

Nous avons testé la sensibilité aux variations des paramètres initiaux suivants :

- variation du nombre d'agents bus avec une répartition enquêtée (Figure 4.6) ou homogène (1, 2, 3 ou 4 bus par arrêt au départ);
- variation de la demande : homogène, concentrée, dispersée ou indexée sur la réalité (enquête) (Figure 4.7)

Chaque combinaison a été répétée 100 fois pour s'assurer de la stabilité des résultats⁷.

En sortie, nous récupérons des données permettant deux niveaux d'analyse. Nous pouvons nous positionner au niveau des agents et observer leurs parcours individuels. D'un autre côté, des indicateurs plus généraux nous permettent d'avoir des informations sur l'état du système au niveau macro.

Les données pour le niveau micro, individuel :

- l'état des usagers : desservis / non desservis, temps d'attente ;
- l'état des arrêts : fréquentation par les bus ;
- l'état des liens : fréquentation par les bus ;
- les revenus générés par chaque bus ;
- les itinéraires suivis par chaque bus.

Les sorties pour le niveau macro :

- niveau de concentration du service ;
- formes des itinéraires effectués par les bus ;
- bénéfices globaux et moyens ;
- part des usagers desservis ;
- temps d'attente moyens.

7. Nous avons donc effectué 2000 simulations grâce aux infrastructures de l'UMR-Espace.

4.2.3 Détails

Initialisations

L'initialisation définit les paramètres de base de notre simulation. Les agents et l'environnement dans lequel ils évoluent dépendent de ces configurations. Les paramètres généraux qui définissent le contexte brazzavillois sont les mêmes, quelle que soit la simulation. Les caractéristiques du réseau (arrêts et routes) restent donc toujours identiques. Ensuite, les paramètres qui évoluent en fonction des simulations sont implémentés. Le nombre de bus est fixé par l'utilisateur du modèle : soit une répartition homogène de 1, 2, 3 ... bus par arrêt au départ, soit la répartition issue de l'enquête (Figure 4.6). La forme de la demande suit le même schéma avec une modalité issue de l'enquête et des modalités plus théoriques : homogène, concentrée ou dispersée. La répartition issue de l'enquête évolue au cours de la journée : les usagers sont générés heure par heure. La configuration 6h-7h présentée sur la figure 4.7 est particulièrement concentrée, cette caractéristique devient moins tranchée au cours des générations suivantes. Les données issues des enquêtes ont été réduites de manière proportionnelle afin de permettre des simulations plus rapides.

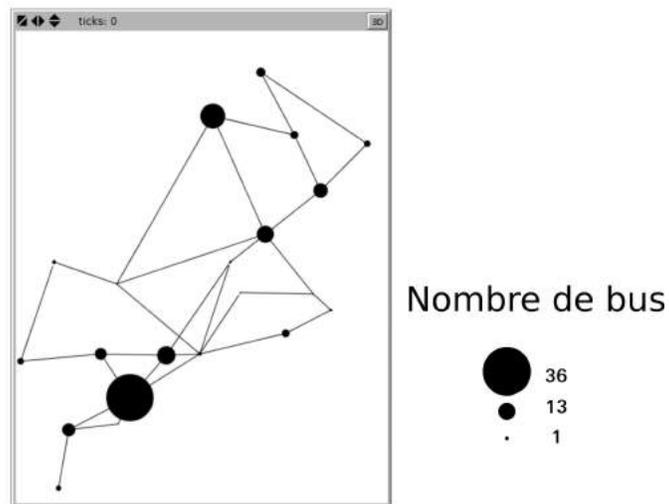


FIGURE 4.6 – Un exemple d'initialisation à partir des données enquêtées : répartition initiale des bus

Variables de forçage

Il n'y a pas de variables qui définissent des seuils ou limitent les simulations pendant leur déroulement. Celles-ci sont stoppées au bout de 720 pas de temps, l'équivalent d'une journée.

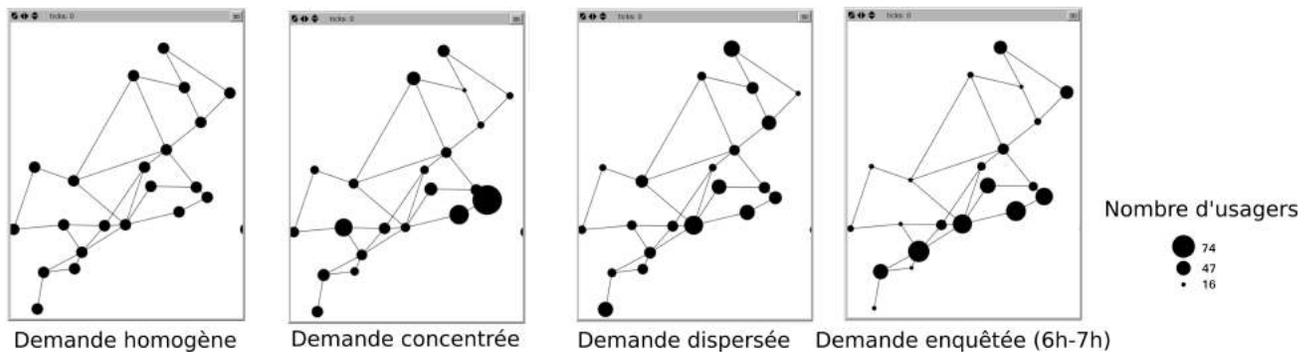


FIGURE 4.7 – Répartitions initiales des usagers pour le modèle BrazzaBus

Sous-modèles

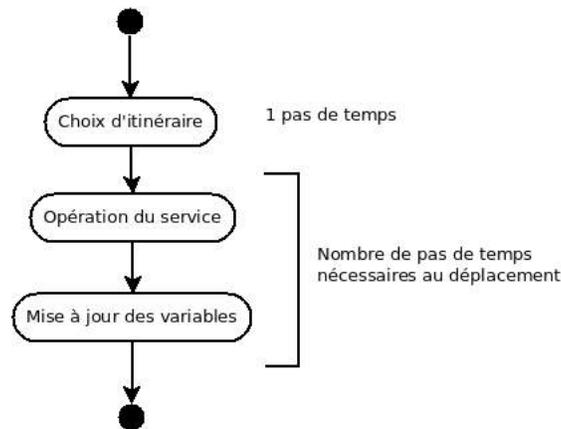


FIGURE 4.8 – Diagramme de séquence du modèle BrazzaBus

Les trois sous-modèles qui permettent le fonctionnement de BrazzaBus se succèdent en plusieurs pas de temps (Figure 4.8). Le choix de l’itinéraire ne dure qu’un pas de temps alors que la durée de l’opération du service dépend notamment de la longueur du déplacement. La mise à jour des variables est incluse dans le dernier pas de temps du déplacement : c’est le moment où elle se termine. Concrètement, elle a lieu au fur et à mesure que les bus se déplacent pour ce qui concerne les arrêts et les liens. Pour les agents-bus, elle se déroule à la suite de chaque déplacement.

Un tel agencement temporel fait que les agents-bus ne sont pas tous simultanément au même stade de leur séquence. Cependant, ils n’agissent pas de manière isolée : la présence des autres agents-bus est matérialisée notamment par l’encombrement des arrêts et par la diminution des usagers en attente. Chaque bus perçoit les autres agents de son voisinage direct

quand il se déplace par exemple. Ces interactions ne dépendent pas de l'étape du processus à laquelle se trouvent les autres, leur présence à un arrêt est suffisante.

Choix des itinéraires Le sous-modèle du choix des itinéraires est initié par les agents-bus. Il prend en compte les destinations des usagers à l'arrêt et le classement des arrêts pour le bus. Il se traduit par le diagramme d'activité en Figure 4.9. Cette série d'actions est répétée à chaque pas de temps, si le bus n'est pas en circulation.

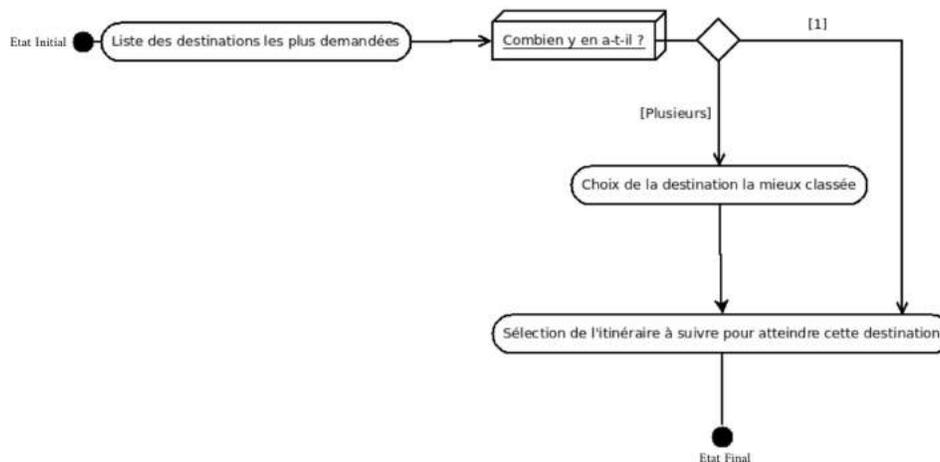


FIGURE 4.9 – Diagramme d'activités de la séquence du choix des itinéraires pour les agents-bus du modèle BrazzaBus

Opération du service Si le bus a une destination définie, le sous-modèle de l'opération du service prend le relais (Figure 4.10). Le chargement et le déchargement durent un pas de temps. Le temps de déplacement est fonction du lien parcouru. L'absence de places disponibles à l'arrêt d'arrivée peut rallonger le temps de trajet. L'agent-bus réitère sa demande de place à un arrêt à chaque pas de temps jusqu'à ce qu'il puisse se garer.

Mise à jour des variables Le débarquement des passagers à un arrêt lance le sous-modèle de la mise à jour des variables. Les liens et les arrêts matérialisent le nombre de passages. Les usagers arrivés à destination sont comptabilisés et disparaissent. Les bus additionnent leurs bénéfices et notent le score de chaque arrêt pour reformuler leur classement. L'arrêt qui a été desservi se voit replacer dans le classement en fonction de son score. Ainsi, le score de l'arrêt a correspond à :

$$S_a = \frac{(\sum Pt - ((temps * T) + P_l)) + S_{a0}}{2}$$

où :

- Pt correspond à un ticket
- T correspond au prix du temps, c'est-à-dire le coût d'une minute en taxes et frais de location ... Cette variable nous permet de donner une valeur au temps passé dans les embouteillages
- P correspond au prix du lien parcouru, chaque lien a un coût qui correspond à la consommation de carburant nécessaire pour parcourir sa longueur
- S_{a0} correspond au score de l'arrêt au précédent passage

(4.1)

Une fois le score de l'arrêt calculé, l'agent-bus le replace dans son classement afin de pouvoir l'utiliser dans ses choix futurs.

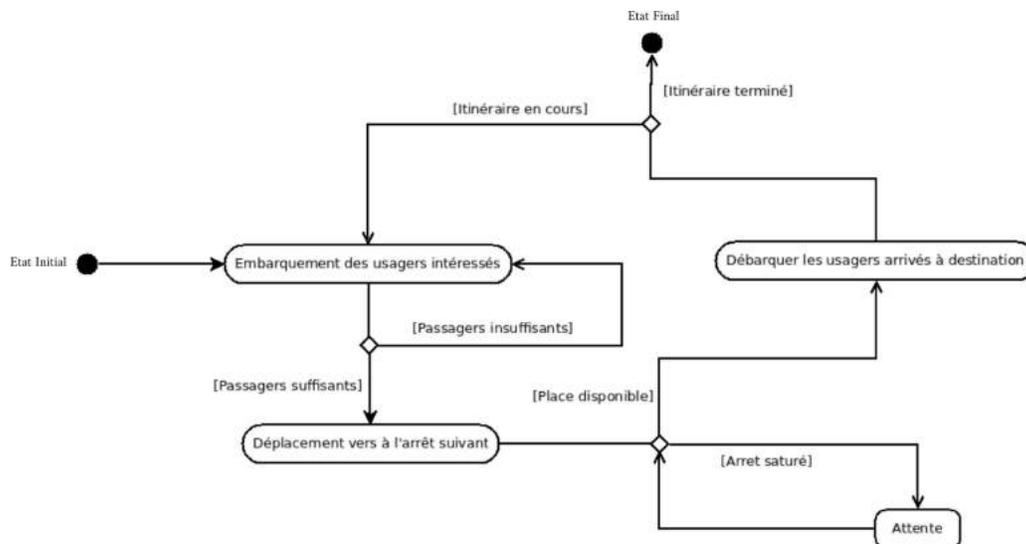


FIGURE 4.10 – Diagramme d'activité de la séquence de l'opération du service pour les agents-bus du modèle BrazzaBus

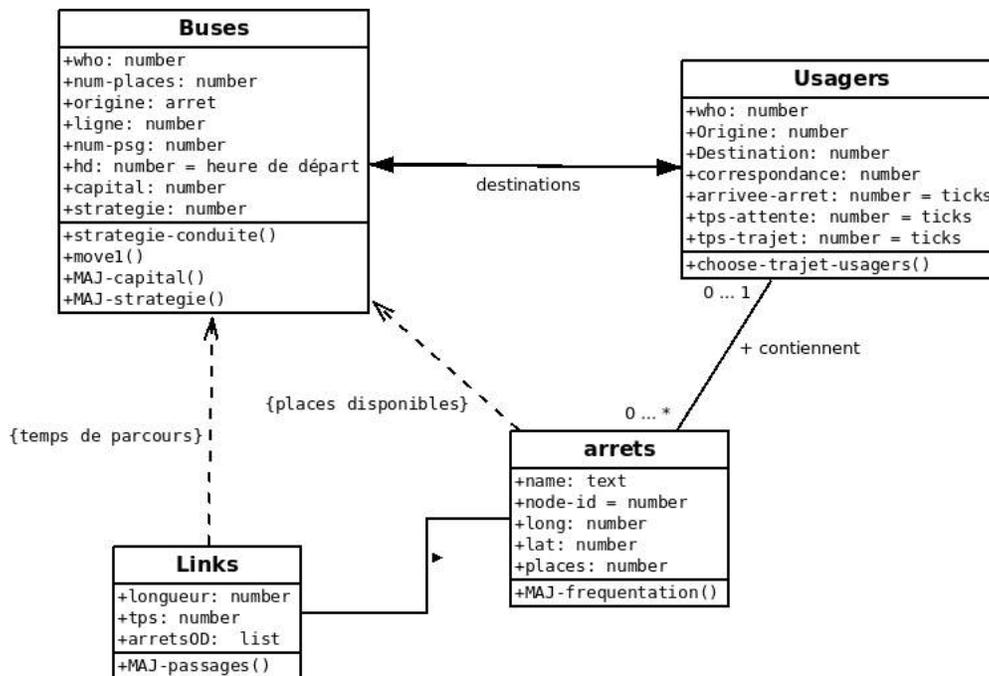


FIGURE 4.11 – Diagramme UML du modèle LimaBus

4.3 Le modèle de Lima

4.3.1 Vue d'ensemble

Objectif

L'objectif du modèle LimaBus est de caractériser les structures et les dynamiques spatiales des transports artisanaux de Lima. Comme dans le cas de Brazzaville, nous postulons que les stratégies individuelles des équipages de véhicule sont responsables de la structuration spatiale du système tout en permettant une évolution constante du système. La particularité de Lima réside dans les itinéraires fixes qui ont émergé au cours de la dernière décennie du XX^{ème} siècle. L'environnement dans lequel évoluent les agents-bus est donc particulièrement contraint, à la différence du contexte brazzavillois.

Entités, variables, échelles

Entités Ce modèle est composé d'entités similaires au modèle Brazzabus : agents-usagers, agents-bus, arrêts et liens. Cependant, chaque agent-bus circule sur un itinéraire défini (Figure 4.11). Les arrêts et les liens sont également marqués par les itinéraires qui les contiennent.

Les variables d'état des entités Les agents-bus de ce modèle ont des caractéristiques fixes, issues d'enquêtes : nombre de places disponibles, arrêt d'origine, itinéraire parcouru. Au cours de la simulation, l'arrêt de destination évolue en fonction de la position sur l'itinéraire. Le nombre de passagers change d'arrêt en arrêt et les bénéfices accumulés également. La stratégie des équipages liméniens repose sur la gestion des fréquences. Celle-ci passe par le choix entre une conduite rapide, qui produit une course de vitesse entre les véhicules, et une conduite ralentie qui permet d'augmenter progressivement les écarts entre les véhicules. Le choix entre ces deux stratégies est propre à chaque chauffeur. Nous avons donc un indicateur de propension à la course compris entre 0 et 1. Sachant que plus l'indicateur est proche de 1, plus le bus aura tendance à accélérer et plus l'indicateur est proche de 0, plus il aura tendance à ralentir. Cette variable des bus se construit progressivement au cours de la simulation. Les autres entités du modèle ont les mêmes caractéristiques que pour BrazzaBus.

Les variables générales Le modèle repose sur un certain nombre de variables communes à tous les agents. Les prix du temps et de l'espace permettent de mettre en place un environnement qui correspond à celui de Lima. Ils sont estimés à partir des différents frais et taxes journaliers des véhicules ainsi que du prix de l'essence et de la consommation moyenne des minibus.

L'échelle temporelle Pour les mêmes raisons que pour Brazzabus, nous avons choisi un pas de temps équivalent à une minute. Cette similitude entre les deux modèles nous permet de les comparer plus facilement.

L'échelle spatiale De la même manière, notre échelle spatiale correspond à l'agglomération liménienne. Étant donné que les transports artisanaux à Lima s'arrêtent à tous les coins de rue, nous ne pouvions matérialiser des arrêts réels, beaucoup trop nombreux et instables. Nous avons donc sélectionné des points de repère qui permettent d'agréger les itinéraires et les origines-destinations des usagers. L'environnement de simulation repose donc sur ces 49 points de repère, transformés en arrêts, reliés par 881 kilomètres de routes (Figure 4.12). Les coordonnées de ces points ont été construites à partir du croisement des tracés des itinéraires et du découpage administratif. Nous avons choisi de leur donner à tous le même nombre de places.

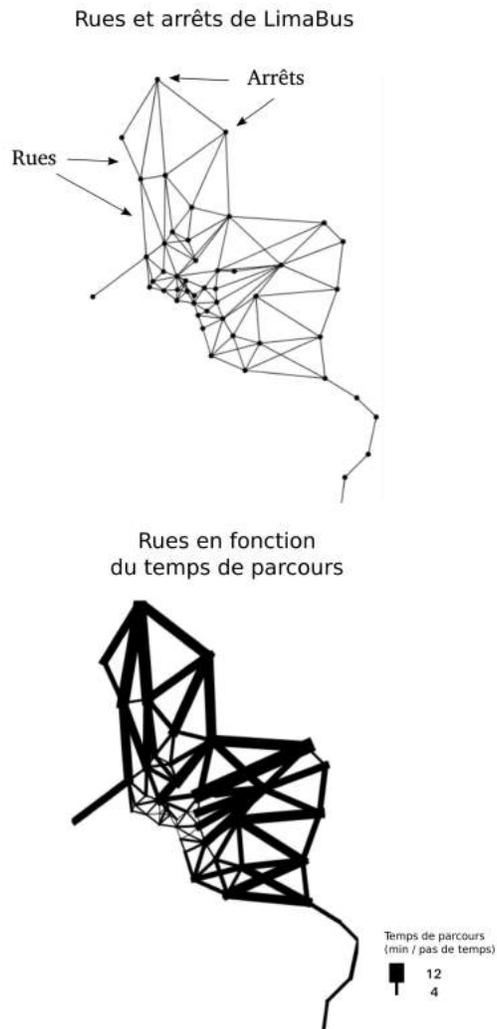


FIGURE 4.12 – Configuration de l'espace pour le modèle LimaBus

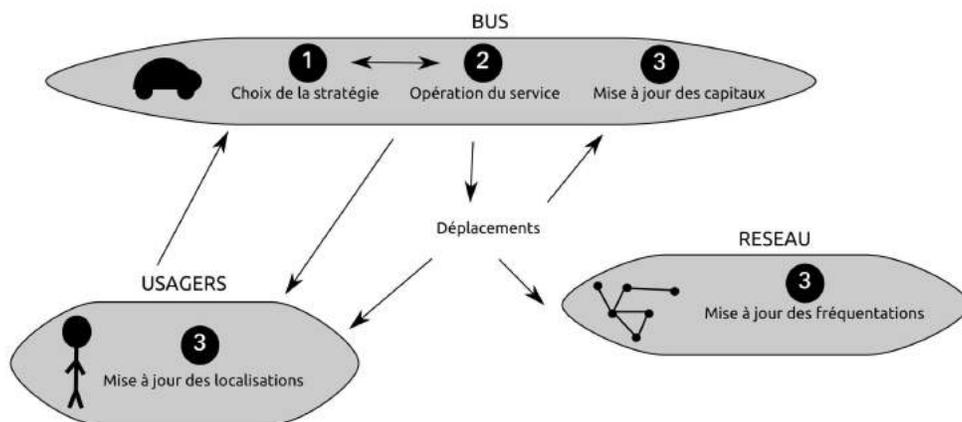


FIGURE 4.13 – Organisation des processus pour le modèle LimaBus

Processus et ordonnancement

Le modèle LimaBus met en évidence les structures spatiales de la desserte en transports collectifs ainsi que ses dynamiques. Ce modèle est divisé en sous-modèles (Figure 4.13) :

- Sous-modèle des stratégies (1), basé sur l'interaction entre les agents-bus, il permet aux bus de choisir leur vitesse de circulation
- Sous-modèle de l'opération du service (2) qui se base sur le déplacement des bus en interaction avec les usagers
- Sous-modèle de la mise à jour des variables (3) économiques pour les agents-bus et de fréquentation et de localisation pour les arrêts, routes et usagers

4.3.2 Concepts d'élaboration

Contexte théorique et empirique

LimaBus nous permet d'observer la manière dont l'auto-organisation des transports artisanaux forme des structures spatiales et une desserte dynamique. À la différence de BrazzaBus ou de Modulobus [Lammoglia, 2013], les itinéraires observés à Lima sont fixes. Ainsi nous nous intéressons ici à un autre type d'auto-organisation : la gestion des fréquences. La question du temps est au coeur de ce modèle. L'agrégation des besoins de déplacement des usagers a lieu de manière contrainte sur le plan spatial puisque les itinéraires sont fixes. La question centrale se déplace donc au niveau temporel pour ce modèle.

Processus de décisions

Les équipages de véhicules sont au cœur du processus d'auto-organisation des transports collectifs. Les processus de décisions sont donc principalement mis en œuvre par ces agents. Les bus circulent sur des itinéraires fixes. Leur stratégie concerne la vitesse de circulation. Quand ils arrivent à un arrêt de bus, ils reçoivent des informations sur le temps qui les sépare du bus précédent. Si ce temps est inférieur à 2 minutes⁸, les bus ont le choix entre attendre pour laisser s'éloigner le bus précédent ou d'accélérer pour le doubler. Au début de la simulation, l'agent choisit au hasard entre l'une ou l'autre de ces stratégies. En fonction des bénéfices réalisés, son choix se portera plus ou moins vers l'une ou l'autre des possibilités.

Réaction aux conditions extérieures

Les agents interagissent uniquement avec leur voisinage.

Interaction

Les agents-bus construisent leur stratégie en fonction de l'état du réseau. Le niveau de saturation est particulièrement important : l'augmentation de la congestion crée de plus en plus d'occasions de proximité entre les bus. Les arrêts enregistrent les fréquences de passage des bus et les transmettent aux bus à leur arrivée. Ainsi les agents-bus ont une interaction directe entre eux pour des questions de places disponibles et des interactions indirectes grâce aux informations diffusées par les arrêts. D'autre part, les bus interagissent évidemment avec les usagers pendant l'opération du service : ils embarquent, transportent et débarquent les usagers au cours de leurs déplacements. Le nombre de passagers conditionne leur départ.

Hétérogénéité

Les usagers, arrêts et liens ont chacun des caractéristiques propres. Les usagers ont une origine et une destination qui sont issues de données d'enquête. Les arrêts ont leur localisation, et les liens leurs temps de parcours et prix. Dans le cas des agents bus, l'hétérogénéité apparaît au cours de la simulation. Ils construisent leurs stratégies en fonction de leur expérience de desserte.

8. Ce seuil est issu de nos enquêtes.

Stochastique

La dimension stochastique du modèle dépend des paramètres d'initialisation. Dans le cas d'une initialisation de la demande qui n'est pas issue d'une enquête, les usagers se voient attribuer des origines et destinations de manière aléatoire, avec des aléas de formes différentes (voir la section Détails -> Initialisation). En ce qui concerne les agents-bus, la note est la même pour les deux stratégies au départ. Ensuite, l'une va devenir mieux notée aux dépens de l'autre. Le bus sélectionne une des deux stratégies de manière aléatoire avec une probabilité plus ou moins importante en fonction du score des deux stratégies.

Observation

Afin d'assurer la comparabilité de nos modèles, nous avons mis en œuvre le même plan d'expérience que pour BrazzaBus. Les données d'entrée et de sortie sont de mêmes types. Nous avons testé les paramètres initiaux suivants :

- variation du nombre d'agents bus : répartition enquêtée (Figure 4.14) ou homogène
- variation de la répartition de la demande (Figure 4.15)

Les variables de sortie pour le niveau macro sont les mêmes que pour BrazzaBus. Au niveau micro, la seule variable qui change concerne les stratégies des agents-bus. Nous nous intéressons ici à la proportion d'utilisation de chacune des deux stratégies et non pas à l'itinéraire suivi par les bus.

4.3.3 Détails

Initialisations

Dans le cas de LimaBus, les paramètres généraux qui définissent le contexte particulier de Lima sont fixes, quelle que soit la simulation. Le réseau reste donc toujours le même, tout comme les variables globales telles que les prix du temps et de la distance. Nous testons différentes répartitions des bus : soit à partir de données d'enquête (Figure 4.14), soit en plaçant 1, 2, 3 ... bus par arrêt. Pour les usagers, ils sont placés sur les lignes parcourues et sur les arrêts (Figure 4.15). Dans la configuration homogène, il y a le même nombre d'usagers par arrêts au départ. Dans les configurations "dispersée" et "concentrée"⁹, les usagers sont répartis de façon plus ou moins concentrée sur les différents arrêts.

9. La dispersion est définie de façon à ce qu'il y ait beaucoup d'arrêts avec un nombre moyen d'usagers et peu d'arrêts avec beaucoup ou très peu d'usagers. La concentration correspond à un faible nombre d'arrêts qui ont une demande importante.

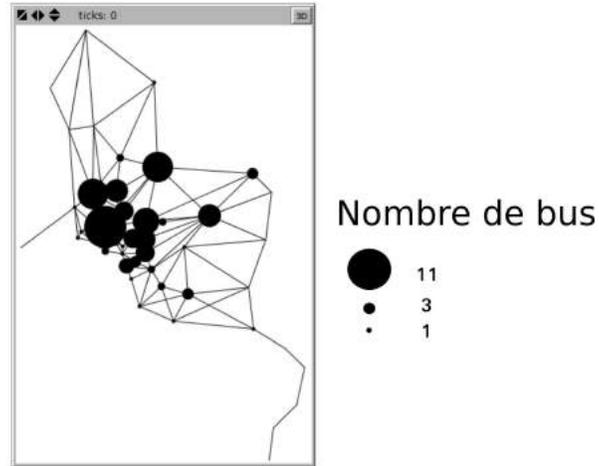


FIGURE 4.14 – Exemple d’une répartition des bus pour une initialisation à partir des données enquêtées

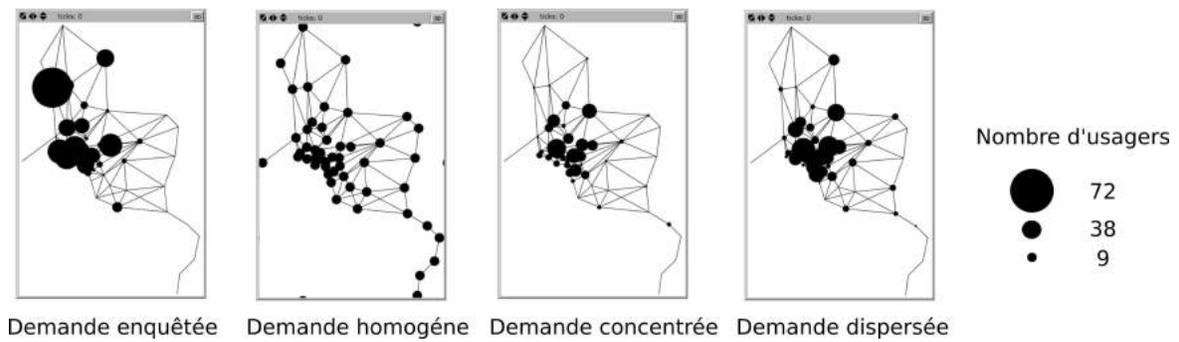


FIGURE 4.15 – Répartitions initiales des usagers

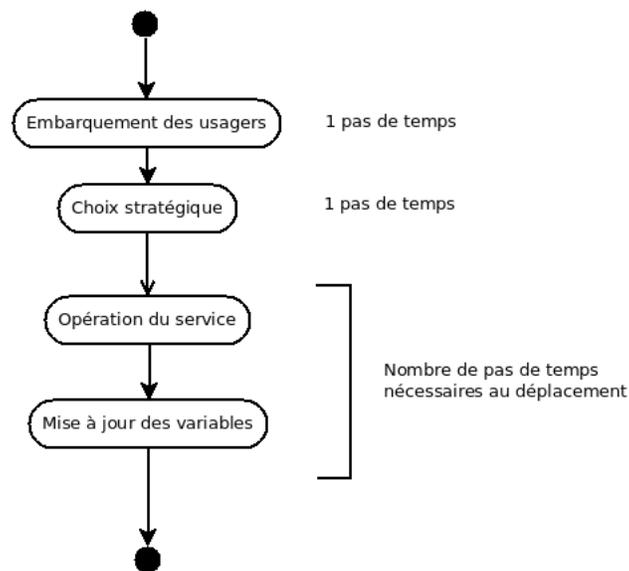


FIGURE 4.16 – Les sous-modèles de LimaBus

Variables de forçage

Les simulations durent 720 pas de temps, afin de couvrir l'équivalent d'une journée de travail. Il n'y a pas de variables externes qui limitent la simulation.

Sous-modèles

Après l'initialisation qui génère le réseau, la demande et les bus, les trois sous-modèles de LimaBus se succèdent et interagissent sur plusieurs pas de temps (Figure 4.16). La partie opération du service est entrecoupée par le choix de la stratégie. Une fois les usagers embarqués, l'agent-bus choisit sa stratégie en fonction des informations dont il dispose puis la séquence opération du service reprend et se termine par la mise à jour des variables. De la même façon que pour BrazzaBus, les agents-bus ne sont pas tous simultanément au même stade de leur séquence.

Embarquement des usagers Le sous-modèle de l'opération du service est divisé en deux parties, séparées par le choix stratégique. L'embarquement des usagers a lieu dans un premier temps. Cette séquence assez simple (Figure 4.17) se répète à chaque fois qu'un bus arrive à un arrêt. Ce sont les agents-bus qui agissent dans ce cas. Les usagers se contentent de suivre les orientations données par les bus.

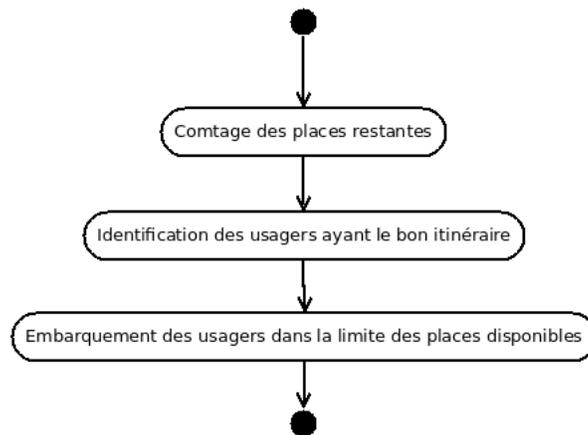


FIGURE 4.17 – Séquence de l'embarquement des usagers

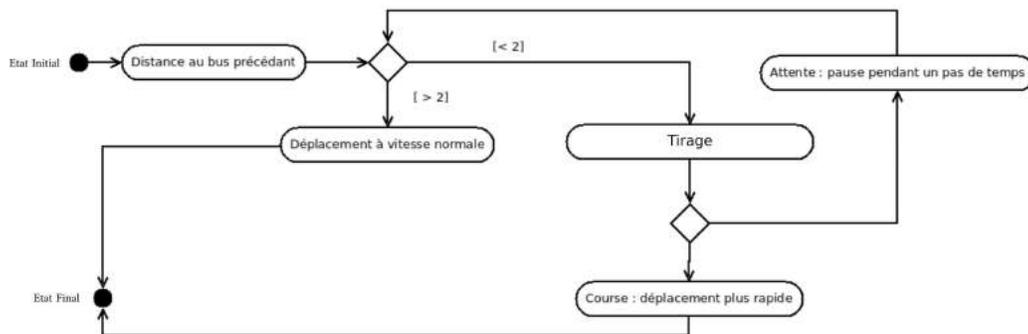


FIGURE 4.18 – Séquence du choix stratégique

Choix stratégique La séquence du choix stratégique (Figure 4.18) intervient au moment du départ. Le bus obtient le temps qui le sépare du bus précédent auprès de l'arrêt. Il effectue le tirage uniquement si le dernier départ a eu lieu il y a moins de deux minutes. Dans ce cas, deux possibilités s'offrent à lui. Dans un premier cas, il accélère et se déplace plus rapidement que la normale. Cette stratégie permet la plupart du temps de doubler le bus précédent et d'arriver avant lui à l'arrêt suivant. Dans un second cas, il attend un pas de temps avant de réitérer le processus. Le déplacement normal correspond à un départ immédiat et au temps de parcours de référence du lien.

Opération du service Une fois la stratégie choisie, le bus met en place la suite de l'opération du service (Figure 4.19). Celle-ci consiste principalement en un déplacement conditionné par le temps de parcours du lien et le nombre de places disponibles à l'arrêt d'arrivée. Le bus ne peut débarquer les usagers à son bord que s'il a une place à l'arrêt. Le temps d'attente aux arrêts est pris en compte dans le coût du déplacement.

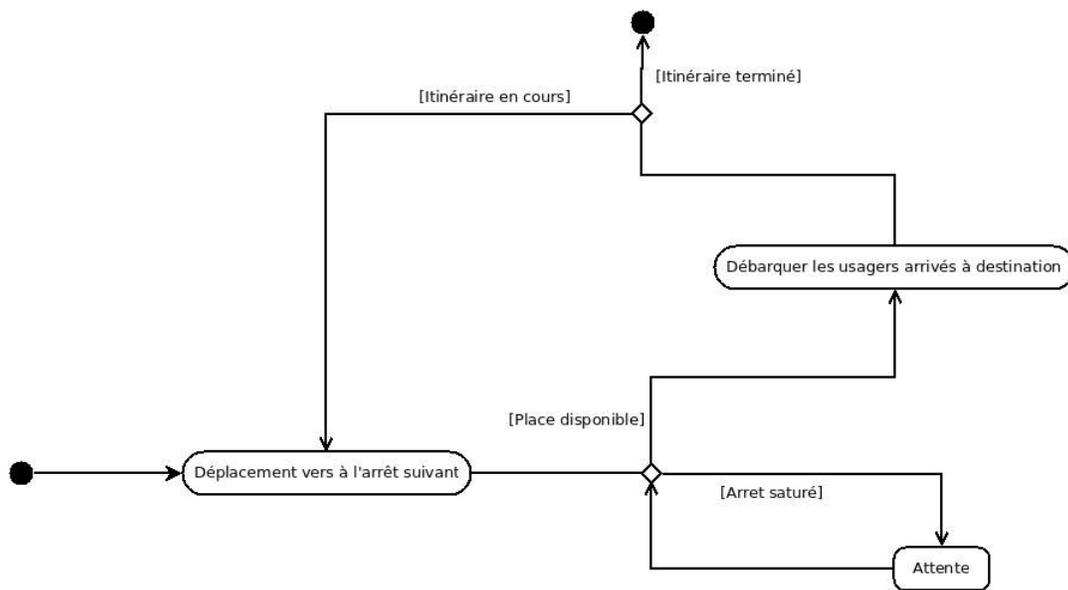


FIGURE 4.19 – Séquence de l’opération du service

Mise à jour des variables Après chaque arrivée à un arrêt, avant d’embarquer de nouveaux passagers, l’agent-bus met à jour ses variables. Il comptabilise ses bénéfices à partir des usagers embarqués, des liens parcourus et du temps passé depuis le dernier comptage.

$$B = \sum t - ((temps * T) + (P_l))$$

où :

- t correspond à un ticket
- T correspond au prix du temps, c’est-à-dire le coût d’une minute en taxes et frais de location ... Cette variable nous permet de donner une valeur au temps passé dans les embouteillages
- P_l correspond au prix du lien parcouru, chaque lien a un coût qui correspond à la consommation de carburant nécessaire pour parcourir sa longueur

(4.2)

L’agent-bus fait également évoluer son indicateur stratégique en fonction des bénéfices réalisés en utilisant cette stratégie. Ainsi, si le bénéfice est positif, l’indicateur va tendre un peu plus vers la stratégie utilisée : 1 pour l’attente et 0 pour la course.

L'indicateur évolue de la manière suivante. Vers une valeur plus faible, si le score positif est celui de la course :

$$I_1 = I_0 - 0.1$$

où :

— I_0 correspond à l'indicateur précédent

(4.3)

Vers une valeur plus élevée, si le score positif est celui de l'attente :

$$I_1 = I_0 + 0.1$$

où :

— I_0 correspond à l'indicateur précédent

(4.4)

Le tirage est effectué par la fonction *random* de *Netlogo*, paramétrée pour générer aléatoirement un nombre à deux décimales entre 0 et 1. Si le nombre est inférieur à l'indicateur I, la stratégie mise en place est l'attente, si le nombre est supérieur à l'indicateur I, la stratégie mise en place est la course. Ainsi lorsque l'indicateur est à 0,7, le nombre tiré a plus de chance d'être inférieur à l'indicateur et donc de conduire l'agent à une stratégie d'attente. C'est pourquoi, lorsque l'attente apporte des résultats positifs, l'indicateur I augmente. Inversement, l'indicateur I diminue lorsque le choix de la course est rentable ; parce que lorsque l'indicateur est inférieur à 0,5, le nombre tiré a plus de chance d'être supérieur à l'indicateur I et donc de générer une stratégie de course. Si le score de l'un des choix est négatif, il est considéré comme un score positif pour l'autre choix. I est borné entre 0,1 et 0,9, afin de laisser la possibilité à l'une ou l'autre des stratégies de reprendre le dessus.

Les variables des arrêts et des liens ainsi que les variables générales sont mises à jour à chaque pas de temps. Les arrêts comptent au fur et à mesure le nombre de bus présents et ceux qui sont passés, ainsi que le nombre d'usagers. Les liens comptent également le nombre de bus qui sont passés.

		LimaBus	BrazzaBus
Overview	Objectifs	Caractériser les structures et les dynamiques spatiales des transports artisanaux	
	Entités, Variables, Echelles	Agents : Bus, Usagers Environnement : Arrêts, Liens Echelle : agglomération	
	Processus et Ordonnement	Stratégie de gestion des fréquences	Stratégie de gestion des itinéraires
Design Concepts	Contexte théorique et empirique	Auto-organisation des transports collectifs dans le cadre de la contrainte spatiale d'itinéraires fixes	Auto-organisation des transports collectifs artisanaux
	Processus de décision	Construction de la stratégie de proche en proche Adaptation de la vitesse de circulation en fonction de la mémoire des agents bus	Construction de la stratégie de proche en proche Choix des destinations en fonction de la demande et la représentation du réseau qu'à l'agent bus
	Réaction aux conditions extérieures	Voisinage uniquement	
	Interactions	Interactions directes avec les usagers Interactions indirecte avec les autres bus sur le même itinéraire	Interactions directes avec les usagers Interactions indirectes avec les autres bus au même arrêt
	Hétérogénéité	Construction progressive des stratégies de chaque agent-bus	
	Stochastique	Pour les agents bus : Tirage aléatoire de la vitesse de circulation la première fois puis tirage contraint en fonction de l'expérience des précédents Certains profils de demande sont aléatoires	Si l'agent bus doit choisir entre plusieurs destinations qui ne sont départagées ni par la demande ni par ses précédentes expériences, l'orientation se fait aléatoirement
	Observation	Tests des variables : nombre de bus et forme de la demande Variables de sortie : nombre d'usagers desservis, répartition spatiale de la desserte, revenus des bus et itinéraires le cas échéant	
Details	Initialisation	Plusieurs configurations de nombre de bus et de demande	
	Variables de forçage	Une simulation dure 720 pas de temps, l'équivalent d'une journée	
	Sous-modèles	Embarquement des usagers Choix de la vitesse de circulation Opération du service Mise à jour des variables	Choix d'itinéraire Opération du service Mise à jour des variables

FIGURE 4.20 – Synthèse des principales caractéristiques de LimaBus et BrazzaBus (Détailées en partie 4.2 et 4.3)

4.3.4 Deux modèles aux caractéristiques distinctes

LimaBus et BrazzaBus sont des modèles de systèmes de transports artisanaux. Ils sont structurés de la même manière et reposent tous deux sur l'auto-organisation. Ils se différencient par les caractéristiques des systèmes modélisés : Brazzaville repose sur la gestion des itinéraires et Lima sur la gestion des fréquences. Le tableau de synthèse en Figure 4.20 reprend les principales caractéristiques des modèles telles que développées précédemment.

4.4 Résultats

4.4.1 Les variables de sortie : différents types d'efficacité

Nous avons choisi d'observer les deux systèmes que nous étudions en fonction de deux variables de sortie principales. Celles-ci recoupent en partie la double dimension spatiale et temporelle qui émaille notre questionnement depuis le début de cette recherche. En effet, nous nous concentrons sur deux types d'efficacité qui intéressent les transports collectifs : le rendement et la desserte.

Le rendement correspond au nombre d'usagers desservis. Il s'agit de la première mission du système : amener des usagers à destination.

La desserte représente une certaine forme d'efficacité spatiale. Nous nous intéressons à la concentration de la répartition de la desserte. Celle-ci peut être plus ou moins homogène sur le réseau. Certains arrêts sont plus fréquentés que d'autres par les bus. L'indice de concentration (IC) de la desserte est calculé de façon fort simple. Il s'agit de l'écart-type relatif¹⁰ de la fréquentation (x) des arrêts de bus. Ainsi l'indice de concentration de la desserte correspond à la valeur absolue du coefficient de variation, exprimée en pourcentage :

$$IC = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4.5)$$

où :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.6)$$

Variation du nombre d'agents-bus

L'augmentation du nombre de bus a pour effet de saturer le réseau. Celui-ci devient moins praticable : le nombre de places aux arrêts n'augmente pas, donc les bus de plus en plus

10. *Relative Standard Deviation* : écart type (s) rapporté à la moyenne et exprimé en pourcentage

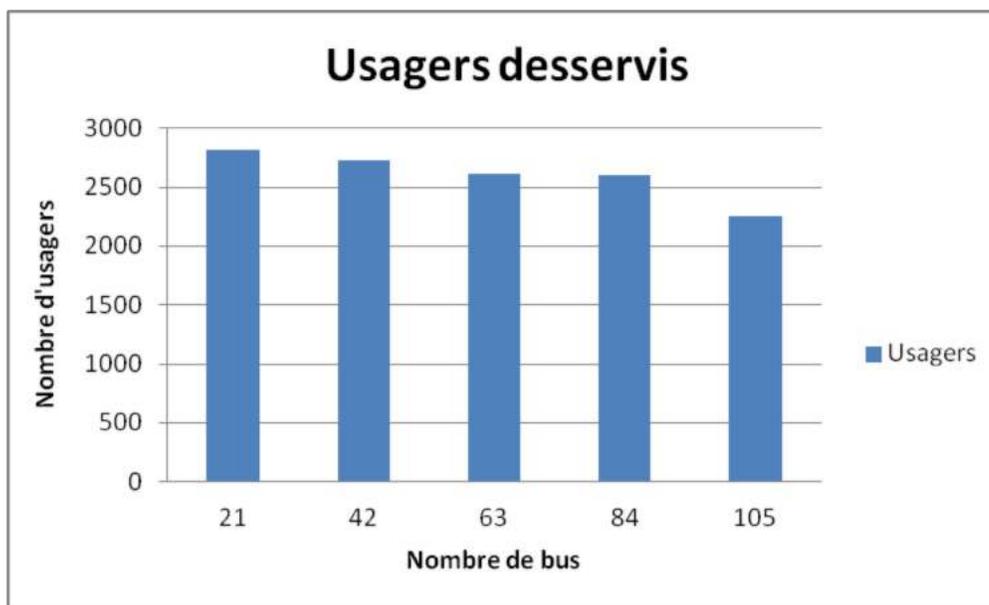


FIGURE 4.21 – Nombre d’usagers desservis - BrazzaBus

nombreux doivent attendre de plus en plus longtemps pour pouvoir se garer et décharger leurs passagers. Cette situation est gérée de façon différente par les deux systèmes que nous étudions. La stratégie de gestion des itinéraires mise en place à Brazzaville permet aux bus d’éviter les zones de saturation et d’aller chercher de nouveaux arrêts. La stratégie de gestion des fréquences favorise une optimisation temporelle de la desserte : les écarts entre les bus ont tendance à diminuer. Ainsi les performances de ces systèmes ne sont pas les mêmes en réaction à la saturation du réseau.

Nombre d’usagers desservis

BrazzaBus Le nombre d’usagers desservis par le modèle BrazzaBus (Figure 4.21) change en fonction du nombre de bus. Lorsqu’il y a plus de bus, le rendement du système diminue. La desserte devient moins efficace. Dans les premières initialisations, le système semble s’adapter à la saturation du réseau. Le nombre d’usagers desservis diminue peu. Mais au-delà de 84 bus, c’est-à-dire 4 par arrêts au départ, le nombre d’usagers desservis diminue fortement. Les embouteillages deviennent trop importants pour que le système puisse les éviter. Le bus a beau chercher de nouveaux arrêts à desservir, ces derniers sont tous occupés.

LimaBus Le nombre d’usagers desservis par le modèle Limabus (Figure 4.22) est influencé par le nombre d’agents-bus. Un nombre de bus trop faible ou trop élevé entraîne un rendement

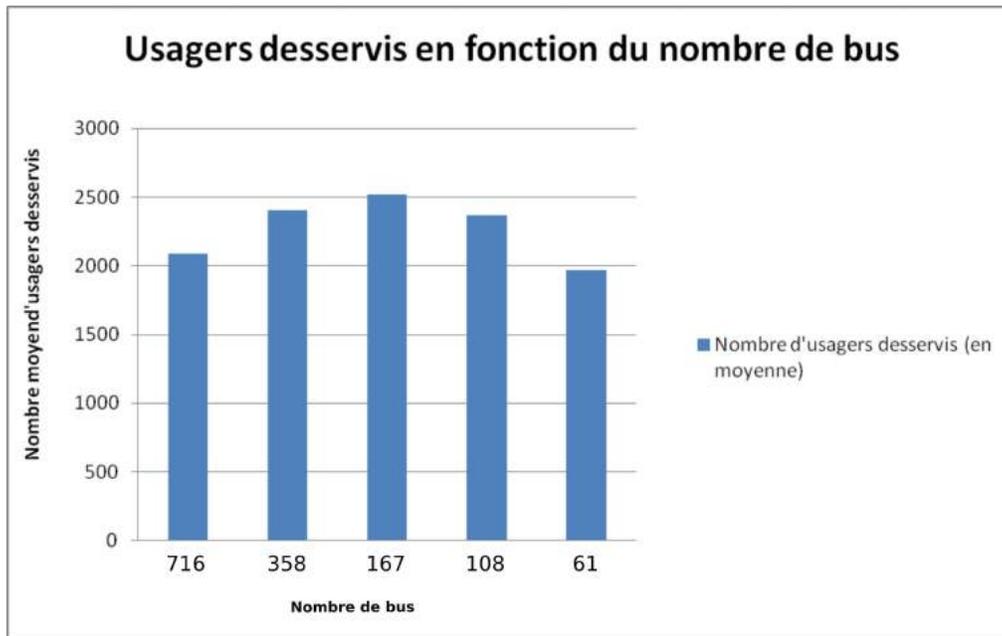


FIGURE 4.22 – Nombre d’usagers desservis - LimaBus

moindre qu’un nombre de bus moyen. Ainsi l’efficacité de la desserte dépend d’un nombre de bus suffisant. Quand il y a peu de bus, ces derniers circulent sans difficulté, mais les fréquences sont faibles. Il n’y a tout simplement pas assez de véhicules pour permettre un rendement élevé. Quand la saturation du réseau est optimale, les fréquences de circulation s’espacent suffisamment pour éviter les embouteillages et permettre un service régulier. Lorsque le nombre de bus devient trop important, la stratégie de gestion des fréquences ne permet plus de répartir les bus dans le temps : les embouteillages apparaissent et le rendement diminue à nouveau.

Répartition spatiale de la desserte

BrazzaBus La variation de la concentration de la desserte pour BrazzaBus (Figure 4.23) montre que l’augmentation du nombre de bus crée des embouteillages. Finalement, les bus se répartissent sur tous les arrêts de bus quand ils sont peu nombreux. Cette propriété est directement liée à l’exploration induite par la stratégie de gestion des itinéraires. Lorsqu’un arrêt n’est pas bien classé, il va être évité et de nouveaux arrêts vont être explorés. Ainsi la desserte se répartit sur tous les arrêts quand il y a peu de bus. La saturation du réseau crée des arrêts fortement embouteillés où de nombreux bus s’agglutinent. Cette situation concentre la desserte sur certains arrêts.

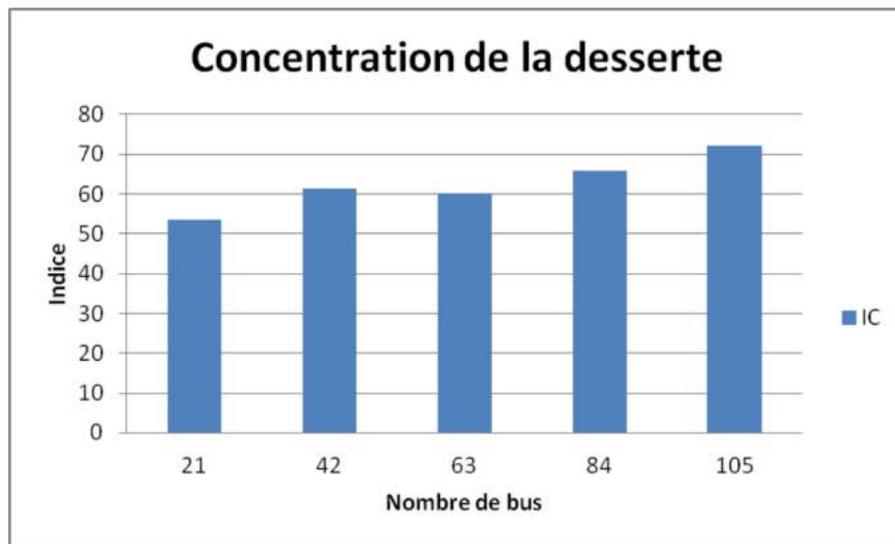


FIGURE 4.23 – Concentration de la desserte - BrazzaBus

Le rendement et la répartition spatiale de la desserte semblent liés : dans la configuration la plus efficace en termes d’usagers desservis, la desserte est la plus homogène. Il ne s’agit pas d’une homogénéité parfaite mais d’une répartition plus équitable que les autres de la fréquentation des arrêts. Ainsi plus cette répartition est équitable entre les arrêts, plus il semble que le rendement de la desserte soit élevé.

LimaBus Dans le cas de LimaBus, la concentration de la desserte diminue au fil des simulations (Figure 4.24). En fait, la proportion de bus par itinéraire est toujours la même. Quand il y a peu de bus, ce sont les arrêts où se croisent plusieurs itinéraires qui créent des points de concentration. Ils sont mécaniquement plus fréquentés que ceux qui ne figurent que sur un seul itinéraire. L’augmentation du nombre de bus crée une saturation de tous les arrêts. Ainsi ce ne sont pas seulement les arrêts de croisement qui sont les plus fréquentés. Une fois le nombre maximal de bus atteint, tous les arrêts sont saturés et la concentration de la desserte devient presque homogène.

Dans le cas de ce modèle, ce n’est pas la desserte la plus homogène spatialement qui a le meilleur rendement en termes d’usagers desservis. En effet, c’est avec 167 bus qu’il y a le plus d’usagers desservis et cette configuration génère une desserte partiellement concentrée.

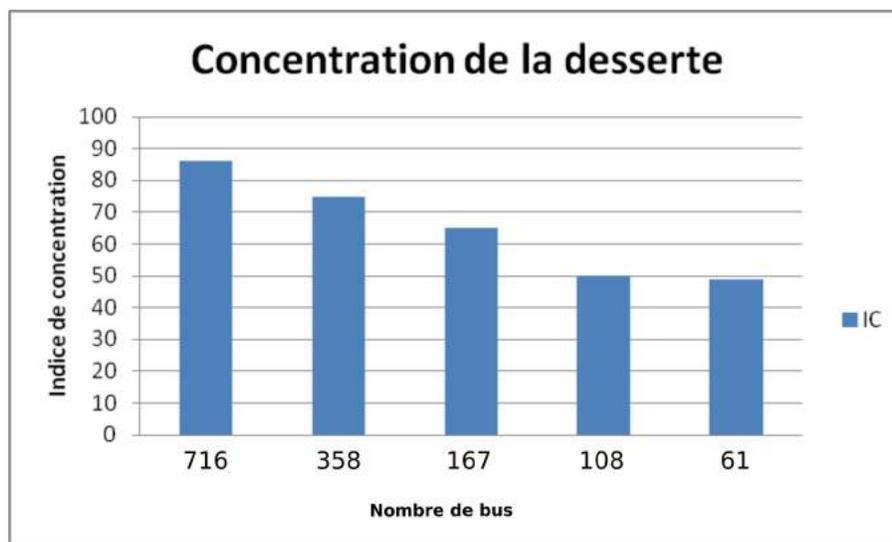


FIGURE 4.24 – Concentration de la desserte - LimaBus

4.4.2 Variation de la demande

La modification de la répartition de la demande crée des polarités différentes et plus ou moins intenses. Les deux systèmes que nous étudions s'adaptent à leur façon à ces formes particulières. La stratégie de gestion des itinéraires suit les orientations données par la demande. La gestion des fréquences ne permet pas de modifier les itinéraires. Dans le cas de Lima, tous les arrêts sont parcourus par un ou plusieurs itinéraires, donc un changement de la forme de la demande ne devrait causer qu'une augmentation des correspondances. Le rendement du réseau en serait ralenti ? Voyons comment réagissent ces deux systèmes.

Nombre d'usagers desservis

BrazzaBus Dans le cas de BrazzaBus (Figure 4.25), la demande homogène est celle qui permet d'avoir le rendement le plus important. La circulation des agents-bus peut se répartir sur tout le réseau et conduire à un rendement plus élevé. À l'inverse, une demande concentrée sur quelques arrêts crée des embouteillages aux endroits où la demande est forte. Malgré la répartition spatiale de la desserte qu'entraîne la stratégie de gestion des itinéraires, ce processus limite le rendement. Dans le cas de la demande enquêtée, la répartition des origines-destinations évolue au cours de la simulation, cela revient donc plus ou moins à une demande dispersée. Ces deux profils de demande génèrent des rendements assez élevés.

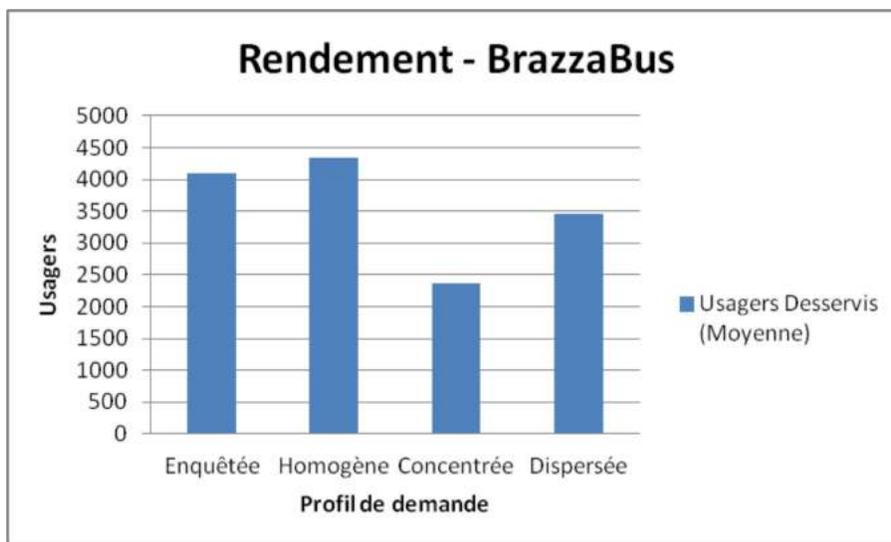


FIGURE 4.25 – Rendement en fonction de la demande - BrazzaBus

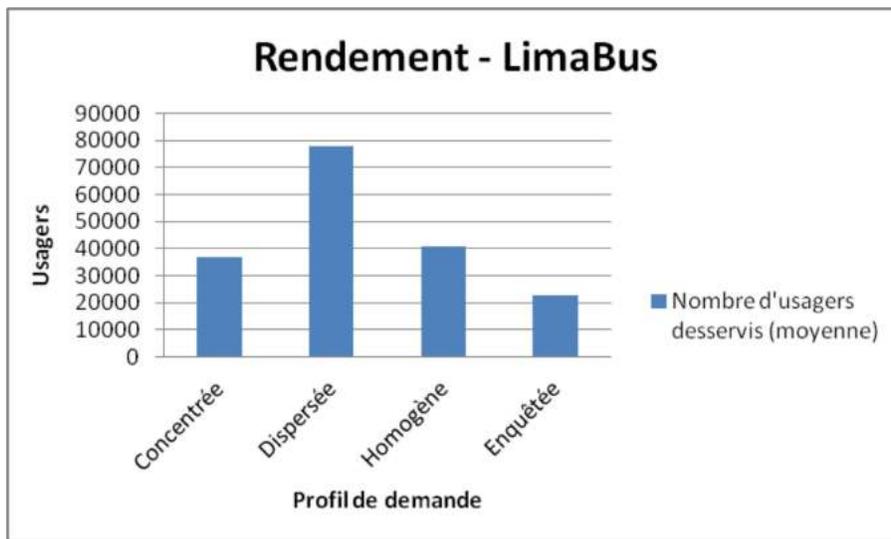


FIGURE 4.26 – Rendement en fonction de la demande - LimaBus

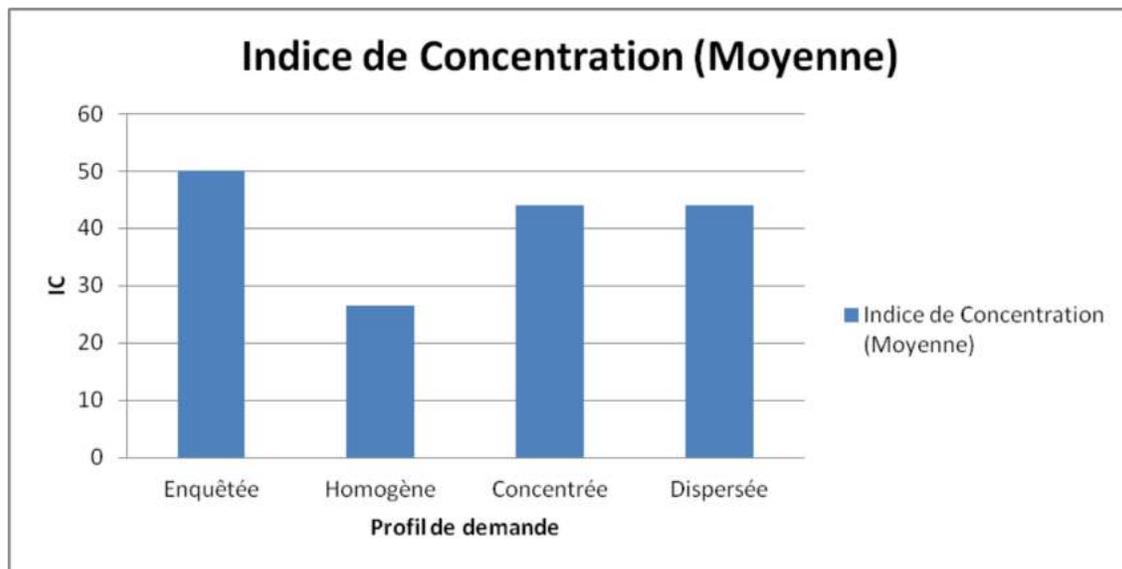


FIGURE 4.27 – Répartition spatiale de la desserte en fonction de la demande - BrazzaBus

LimaBus LimaBus a un rendement beaucoup plus élevé avec une demande dispersée qu’avec une demande concentrée, homogène ou enquêtée (Figure 4.26). La demande dispersée permet d’avoir des usagers sur tous les itinéraires et de limiter le besoin de correspondances. La présence de pôles un peu plus demandés la différencie de la demande homogène qui exige plus de correspondances de la part des usagers. Il en va de même avec une demande concentrée ou enquêtée.

Répartition spatiale de la desserte

BrazzaBus La répartition spatiale de la desserte de BrazzaBus (Figure 4.27) suit la demande. Ainsi les profils de demande les plus polarisés génèrent des dessertes plus concentrées. L’indice de concentration de la desserte est réellement influencé par la répartition de la demande. Mais le lien avec le rendement est relatif. En effet, le meilleur rendement, demande homogène, correspond également à la desserte la mieux répartie. Pourtant les répartitions spatiales de la desserte pour une demande concentrée et pour des demandes dispersées (profil enquêté et dispersé) sont équivalentes, alors que leurs rendements sont différents.

LimaBus La répartition spatiale de la desserte de LimaBus est concentrée (Figure 4.28). Il semblerait que la forme de la demande ne modifie pas vraiment la structure spatiale. Les itinéraires sont fixes donc leur structure ne change pas. Seule la vitesse de circulation, qui crée des embouteillages, génère une desserte plus concentrée. Dans ce contexte, la modification de

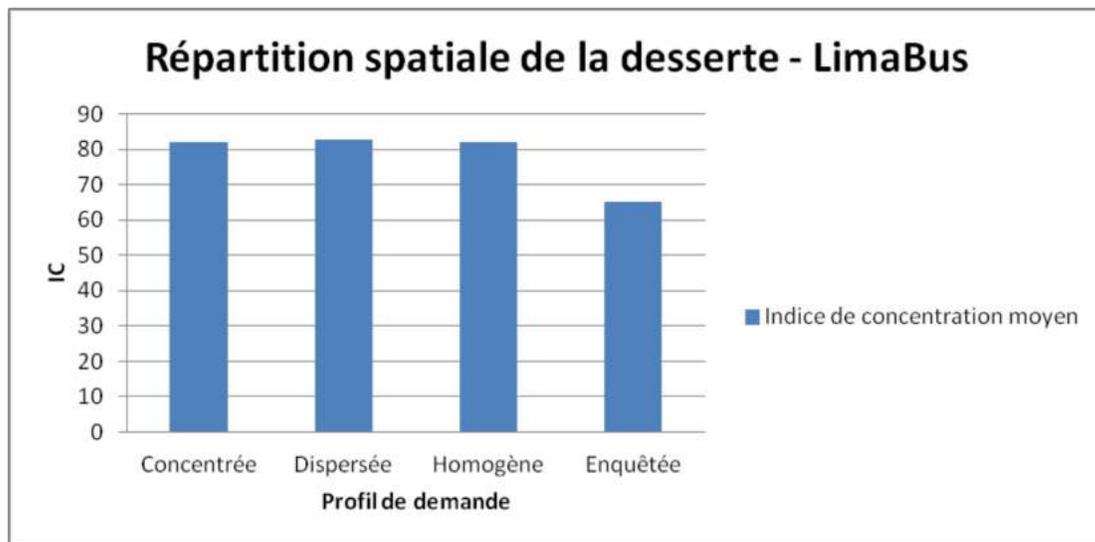


FIGURE 4.28 – Répartition spatiale de la desserte en fonction de la demande - LimaBus

la demande ne crée plus d’embouteillages, la circulation conserve les mêmes embouteillages que pour les autres configurations. Ce sont les usagers qui effectuent des déplacements plus complexes entre leur origine et leur destination. Finalement, ce modèle est spatialement moins sensible à la forme de la demande.

Le cas particulier du profil de demande "enquêtée" mérite d’être commenté. Il génère une desserte moins concentrée que les autres. La répartition des origines / destinations évolue au cours de la journée dans ce profil. Les arrêts de ralentissement qui créent de la concentration de desserte sont donc différents au cours de la simulation. Pour les autres profils, ceux-ci restent les mêmes. Ainsi, la desserte créée par le profil de demande "enquêtée" est légèrement moins concentrée.

4.4.3 Confrontation des simulations aux systèmes observés

La validation d’un modèle constitue pour tout modélisateur une situation d’inconfort. Il est communément admis que la confrontation des résultats des simulations à des données observées constitue un argument de validation. Pourtant, de nombreux arguments existent pour nuancer cette démarche [Delay, 2015]. En effet, tout modèle reste une simplification du réel. Des processus complexes sont traduits et probablement un peu trahis. C’est plus la capacité du modèle à répondre à la question qu’il se pose qui doit être considérée. Finalement, l’objectif serait plutôt de proposer des "explications satisfaisantes" à ce qui semble en avoir besoin [Popper, 1998]. Il convient à ce propos de bien différencier les modèles prédictifs

des modèles explicatifs. D'autre part, supposer qu'un modèle donnerait des résultats en tout point similaires à la réalité a quelque chose d'inquiétant. Un modèle en sciences sociales, et géographiques, pourrait-il se substituer à la réalité ? Les observations utilisées pour vérifier le modèle peuvent-elles se qualifier de "vérités" ? Ainsi, il conviendrait plutôt de parler de plausibilité ou de vraisemblance [Bommel, 2009]. A ce sujet, Pierre Bommel [Bommel, 2009] cité par Étienne Delay [Delay, 2015] distingue "validation faible" et "validation forte". La validation forte implique une certaine forme de certitude et correspond à un faible écart entre le modèle et les données relevées sur le terrain. La validation faible qualifie des modèles qui proposent une explication juste et vraisemblable, bien qu'éloignée de la réalité.

Nos propositions de ce chapitre se situent entre ces deux types de validation. Les modèles LimaBus et BrazzaBus s'inscrivent dans une démarche d'explication et de compréhension.

Pour le modèle BrazzaBus, la confrontation des sorties du modèle avec des données d'enquête permet de s'assurer de la cohérence du modèle. La configuration la plus proche de la réalité est le profil avec demande enquêtée et 21 bus. Les proportions réelles se situent aux alentours de 1000 véhicules pour 500 000 voyages effectués chaque jours. Nous pouvons donc considérer nos simulations avec 21 agents-bus pour 10 660 agents-usagers (équivalents à 1 voyage) comme la configuration la plus proche des proportions réelles (à 1,5% près). Nous avons confronté les capitaux accumulés par nos agents avec les revenus des chauffeurs brazzavillois [Landa, 2014]. Nos simulations produisent des résultats équivalents à moins de 10% près. André W. Landa estime que les minibus génèrent en moyenne 40 000 FCFA de recette chaque jours [Landa, 2014]. Nos simulations produisent des résultats moyens aux alentours de 35 550 en moyenne. L'ordre de grandeur reste donc le même. Nous avons également confronté la répartition des fréquentations dans notre modèle avec des comptages de fréquences. Les principaux pôles restent les mêmes : les arrêts de l'avenue de l'OUA (Total et CCF) et de Moungali (voir Cartes en Figure 2.21 et 3.17).

Pour le modèle LimaBus, les proportions réelles sont de 25 000 bus pour 7.2 millions de voyages par jour. La demande enquêtée génère l'équivalent de 1460 usagers toutes les heures, soit 17 500 sur la totalité de la simulation. La configuration à 61 bus se rapproche le plus du système observé (à 0,5 % près). Dans cette configuration, en ce qui concerne le revenu des bus, notre modèle affiche une moyenne à 200 alors que les recettes des bus sont plutôt estimées entre 500 et 800 soles quotidiens [Bielich, 2011]. Notre modèle est assez peu précis sur ce thème. D'un point de vue spatial, il est plus vraisemblable puisque les sorties de ces simulations montrent des pôles de fréquentation similaires aux observations : base de la périphérie Nord et centre de l'agglomération (voir Carte en Figure 3.14).

4.5 Vers de nouvelles hypothèses

Ces deux modèles nous ont permis de comprendre comment se déroulent les mécanismes des transports artisanaux à Lima et à Brazzaville. Ces deux systèmes font émerger des structures qui correspondent à celles que nous avons observées (Chapitre 3). Ainsi la spatialisation de la desserte et l'observation du rendement nous permettent de constater que les types d'auto-organisation observés font émerger des structures différentes aux dynamiques propres.

Finalement, les deux modèles ne réagissent pas de la même façon à la variation du nombre de bus (Figure 4.29). Dans le cas de Brazzaville, l'augmentation est absorbée jusqu'à un certain seuil de saturation. Dans le cas de Lima, ce seuil de saturation semble plus élevé. Pour développer la comparabilité entre les deux modèles, nous pouvons mesurer les rapports de saturation du réseau en nombre de places de parking disponibles par bus. Dans le cas de Brazzaville, le nombre de places disponibles pour chaque véhicule va de 5,7, quand il y a 21 bus sur le réseau, à 1,1 quand il y a 105 bus sur le réseau. Pour Lima, le nombre de places disponibles pour chaque bus est entre 4, pour 61 bus, et 0,3, pour 716 bus. Le nombre d'usagers desservis à Lima ne commence à diminuer qu'à partir de 1,5 place par bus. Alors qu'à Brazzaville, il diminue en dessous de 5,7 places par bus. Il semblerait que la stratégie de gestion des fréquences soit plus adaptée à la gestion de la saturation du réseau par l'offre de transport.

Pourtant, une telle hypothèse ne peut être validée à ce stade puisque l'importance de la taille et de la configuration spatiale du réseau peut influencer sur ce processus. D'autre part, les deux stratégies ne sont réellement comparables que dans le même contexte de simulation.

De la même façon, les deux stratégies modélisées réagissent différemment selon la forme de la demande implémentée (Figure 4.30). Si tous les deux ont un rendement modifié par la forme de la demande, BrazzaBus a un meilleur rendement avec une demande homogène alors que LimaBus est plus efficace avec une demande dispersée. Là encore, la question de la forme du réseau doit être posée.

Nombre de bus	LimaBus	BrazzaBus
Rendement élevé	Moyen (167 bus)	Faible (21 bus)
Répartition spatiale homogène	Faible (61 bus)	Faible (21 bus)

FIGURE 4.29 – Synthèse des résultats de LimaBus et Brazzabus - Variations du nombre de bus

Demande	LimaBus	BrazzaBus
Rendement élevé	Demande dispersée	Demande homogène
Répartition spatiale homogène	Non significatif	Demande homogène

FIGURE 4.30 – Synthèse des résultats de LimaBus et Brazzabus - Variations de la forme de la demande

Nous proposons donc de construire des modèles plus théoriques dans le chapitre suivant. Il s'agit pour nous de générer des environnements urbains types afin de tester l'adaptation des stratégies à ces contextes.

Troisième partie

Abstractions : Transports artisanaux et contextes urbains théoriques

Deux types de transport artisanal ont été identifiés. Ils reposent sur une gestion des fréquences ou gestion des itinéraires par les équipages de véhicule. Chacun de ces modes de fonctionnement a été modélisé dans son contexte urbain d'origine. Nous proposons ainsi une modélisation basée sur l'auto-organisation en utilisant les systèmes multi-agents. Cependant, les caractéristiques de ces deux modèles ne sont pas comparables. Nous voulons nous intéresser aux variables structurantes de ces systèmes auto-organisés. Comment le transport artisanal s'adapte-t-il à la ville ? Quelles sont les lignes de force de chacune des stratégies ? Où sont les limites de l'auto-organisation ? Pour répondre à ces questions plus générales, nous proposons de propulser les deux systèmes de transport étudiés dans des contextes urbains théoriques. Le premier chapitre de cette partie (Chapitre 5) aura pour objectif de dégager des contextes urbains théoriques et de mesurer l'adaptation des deux types de transport artisanal. Le dernier chapitre sera consacré à la hiérarchisation des variables pour identifier de potentiels leviers d'action et proposer un retour à la réalité au-delà de nos modèles. La démarche entreprise ici est l'aboutissement d'un des défis de ce travail : la comparaison. Choisir deux systèmes de transports artisanaux dans des villes différentes reviendrait presque à "comparer l'incomparable" [Detienne, 2009]. Il s'agit pour nous de dépasser la typologie pour réussir à comprendre les "différences construites en les faisant jouer les unes au regard des autres" [Detienne, 2009].

Chapitre 5

Proposition de modélisation abstraite

Dans le chapitre précédent, les modélisations appliquées ont permis d'analyser certains aspects des systèmes de transport auto-organisés que nous étudions. Les caractéristiques de la desserte, tant en termes de rendement qu'en termes de structures spatiales, réagissent aux variations de l'offre, de la demande et de la capacité du réseau. La stratégie de gestion des itinéraires ne crée pas les mêmes structures que la stratégie de gestion des fréquences face à la saturation du réseau et à différentes formes de demandes.

Les systèmes de transport artisanaux de Brazzaville et de Lima, tels qu'ils sont modélisés, ont des caractéristiques différentes que nous supposons être liées aux stratégies des équipages de véhicules. Ainsi le modèle LimaBus s'adapte mieux que BrazzaBus à la saturation du réseau en termes de rendement comme en termes d'homogénéité spatiale de la desserte.

Les sorties de LimaBus et BrazzaBus ne sont cependant pas directement comparables. L'influence de la forme du réseau ou de celle de la demande sur les paramètres de sortie est difficilement analysable dans l'état actuel des modèles. Nous présentons donc dans ce chapitre une nouvelle modélisation. Afin de garantir une certaine comparabilité des stratégies, nous proposons de confronter les deux stratégies étudiées dans des contextes urbains théoriques.

La construction d'une telle démarche repose sur différentes étapes à la fois scientifiques et techniques. Nous les développons ici en partant d'un modèle très stylisé qui permet de formaliser et de présenter de manière pédagogique les enjeux de cette nouvelle série de modèles. Nous présenterons ensuite les choix de modélisation qui nous ont amenée à définir les paramètres de nos contextes urbains théoriques. Ces derniers sont définis à travers leurs caractéristiques d'interaction avec les transports collectifs : les infrastructures, la demande et les variables économiques vont de pair avec l'effectif de l'offre, défini par le nombre de bus. Pour finir, nous présenterons les résultats des simulations effectuées à partir de ces modèles. Ils

seront analysés en termes d'efficacité, selon trois modalités que nous définirons : le rendement, la couverture spatiale de la desserte et l'efficacité économique.

5.1 Le modèle jouet : étape du processus de formalisation et outil pédagogique

Le modèle jouet¹ a pour objectif de comprendre le comportement des stratégies que nous étudions. La stratégie de gestion des itinéraires et la stratégie de gestion des fréquences sont les deux modalités du transport artisanal que nous avons identifiées. Afin de les comparer, nous commençons par les propulser dans le contexte le plus neutre possible. Nous avons donc fait le choix de gommer les particularités locales afin de vérifier les hypothèses concernant les caractéristiques qui ont émergées lors des modélisations précédentes. Nous souhaitons voir si la gestion des itinéraires s'adapte mieux à un contexte où il y a peu de bus et si la gestion des fréquences s'adapte mieux à un contexte où il y a beaucoup de bus.

Le modèle que nous proposons de construire concerne la totalité du système et pas seulement certains nœuds qui créeraient de la congestion. De fait, l'environnement est homogène et les effets de saturation sont globaux. Cette approche permet de se concentrer uniquement sur la comparaison des deux stratégies de transport artisanal que nous étudions. La simplicité du modèle et sa facilité de manipulation permettent à l'utilisateur de comprendre le fonctionnement des deux systèmes. Notre modèle se veut à la fois pédagogique, en rendant accessibles nos travaux hors du champ des spécialistes, et heuristique, puisqu'il formalise les processus complexes que nous étudions.

La dimension pédagogique de cet outil est valable tant pour présenter nos travaux de manière accessible que pour nous aider à formaliser des processus complexes.

5.1.1 Éloge de la simplicité

Nous avons cherché à rendre ce modèle le plus simple possible. Le seul paramètre qui varie ici est celui de la stratégie des agents-bus. Nous nous plaçons dans une approche KISS (*Keep It Simple Stupid*) [Axelrod, 1997]. Il s'agit de proposer des hypothèses parcimonieuses afin de mieux comprendre les résultats. Cette approche est utilisée dans les sciences de la complexité

1. Un modèle jouet (de l'anglais *toy model*) est un modèle simplifié, utilisé classiquement en physique ou en mathématique pour introduire des éléments complexes. Un processus, une théorie ou un modèle plus complexes peuvent ainsi être expliqués de manière pédagogique en réduisant le nombre de dimensions, de variables ou en les réduisant à une forme symétrique [Garcia and Sterman, 2006]

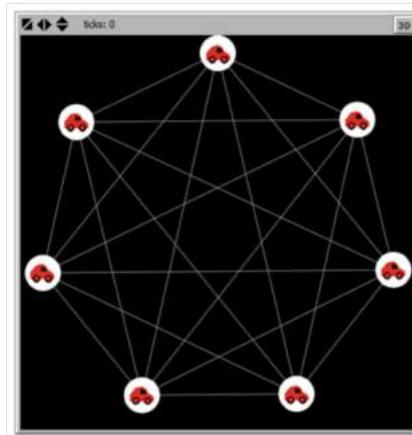


FIGURE 5.1 – L'environnement du modèle jouet

[Axelrod, 1997] et particulièrement quand il est question de systèmes sociaux [Xenitidou and Edmonds, 2014] et spatiaux [Banos and Sanders, 2012]. Ce principe est également connu sous le nom de "rasoir d'Ockham" en référence à Guillaume d'Ockham, franciscain du *XIV^{me}* siècle qui énonça : "« il est inutile d'accomplir par un plus grand nombre de moyens ce qu'un nombre moindre de moyens suffit à produire. [...] Quand des choses doivent rendre vraie une proposition, si deux choses suffisent à produire cet effet, il est superflu d'en mettre trois.» [Gandillac and Quillet, 2017].

Le modèle, appelé "jouet" en référence à sa simplicité de conception et d'utilisation, repose donc sur un environnement lisse, des stratégies simplifiées et un plan d'expérience minimaliste.

Un environnement lisse

L'environnement que nous avons construit se veut le plus neutre possible. À partir d'un espace homogène et d'une demande aléatoire, nous souhaitons gommer les particularités locales pour faire disparaître l'influence de l'environnement.

Ainsi l'espace est rendu isotrope pour les agents-bus. Le graphe est connexe, il n'y a aucun effet de la configuration spatiale. Les temps de parcours et les prix des liens sont tous les mêmes. Les arrêts ont tous 3 places de parking disponibles. Ainsi les stratégies se déroulent dans un contexte totalement homogène.

D'autre part, la demande générée est aléatoire. Elle change à chaque nouvelle initialisation de la demande. D'un point de vue global, cela revient à lisser la demande entre les simulations. Finalement, sur la totalité des simulations, tous les arrêts ont la même demande moyenne, c'est-à-dire un même nombre moyen d'usagers au départ et à destination de l'arrêt. Ainsi

l'analyse des simulations dans leur ensemble s'appuie sur une demande aléatoire entre les arrêts distribuée de manière homogène à l'échelle globale. Nous avons fait le choix de générer une demande aléatoire nouvelle à chaque simulation plutôt qu'une demande homogène. En effet, si la demande est homogène, le processus de choix des agents-bus pour la stratégie de gestion des itinéraires devient aléatoire : puisqu'il n'y a pas de différence entre un arrêt et l'autre au moment du choix, le bus finit par tirer au sort. Dans un contexte où le réseau aussi est homogène, cela enlèverait tout son intérêt à cette stratégie.

Des stratégies simplifiées

Le fait de générer un espace isotrope permet de simplifier au maximum les stratégies. Celles-ci sont construites suivant le même algorithme que pour les modèles précédents (voir les diagrammes d'activité des agents-bus dans la rubrique sous-modèles de BrazzaBus et LimaBus en partie 4.2.3 et 4.3.3 : figure 4.9, 4.10, 4.17, 4.18 et 4.19). Cependant, les caractéristiques de l'environnement rendent les calculs beaucoup plus simples : certaines étapes n'ont plus lieu d'être. Ainsi, la gestion des itinéraires ne pose pas la question du chemin puisque le graphe est connexe. Il s'agit d'un fonctionnement arrêt après arrêt. De la même manière, la gestion des fréquences est simplifiée au maximum dans un contexte où les liens ont tous le même temps de parcours. Pour la question des embouteillages, qui concerne finalement les deux stratégies, les arrêts ont tous la même capacité : 3 bus. Ainsi les réflexions qui seront faites sur les sorties du modèle s'affranchissent des particularités locales des arrêts.

Un plan d'expérience simple

Nous avons opté pour un plan d'expérience simple. Celui-ci se concentre uniquement sur la variation du nombre de bus pour tester notre hypothèse de départ. L'environnement reste fixe et spatialement homogène entre les simulations. La réflexion peut donc se concentrer sur les réactions de chacune des stratégies à la saturation du réseau.

5.1.2 Résultats

Comme attendu, les résultats concernant les deux stratégies diffèrent sur plusieurs plans. Elles ont chacune un rendement différent et leur desserte n'est pas spatialisée de la même façon. Ainsi la stratégie de gestion des fréquences et la stratégie de gestion des itinéraires ne produisent pas les mêmes résultats selon les configurations de simulation. À la suite du plan d'expérience présenté en Figure 5.2, nous pouvons analyser comment chacune des deux

	10 bus	20 bus	30 bus	40 bus
Gestion des itinéraires	100 simulations	100 simulations	100 simulations	100 simulations
Gestion des fréquences	100 simulations	100 simulations	100 simulations	100 simulations

FIGURE 5.2 – Plan d’expérience du modèle jouet

stratégies réagit au contexte implémenté. Elles ont chacune leurs caractéristiques. Voyons d’abord comment leur rendement évolue avant de nous intéresser à la répartition spatiale de la desserte.

Nombre d’usagers desservis

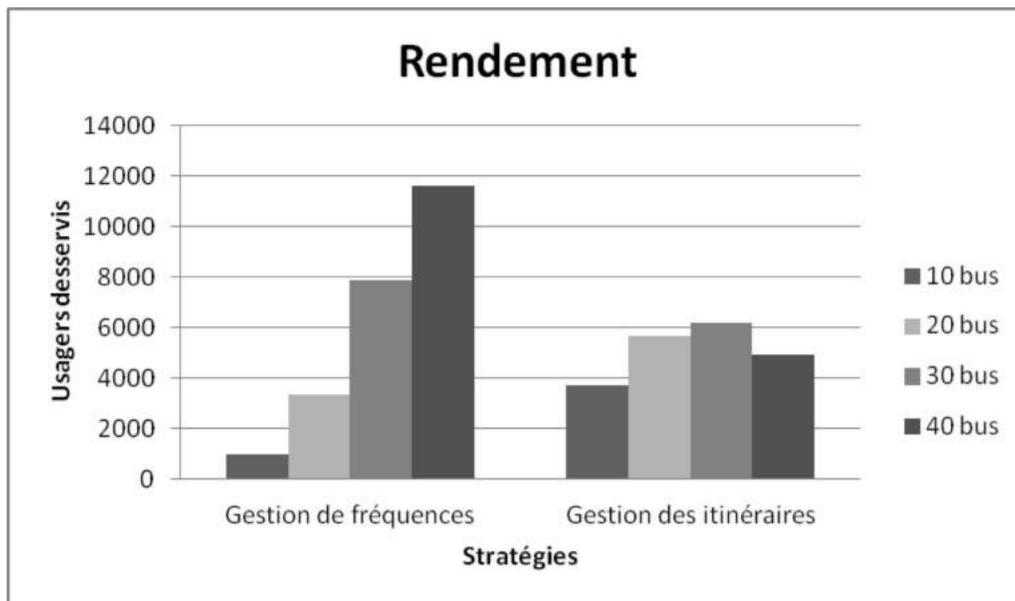


FIGURE 5.3 – Nombre moyen d’usagers desservis en fonction de la stratégie et du nombre de bus - Modèle jouet

La figure 5.3 montre le rendement du système pour chacune des stratégies en fonction du nombre de bus. Le nombre d’usagers desservis par la stratégie de gestion des itinéraires est à

son maximum à 30 bus. Autrement dit, le système fonctionne bien avec 0.7 place par bus². Alors que la stratégie de gestion des fréquences continue d'augmenter son rendement au-delà de ce seuil. Elle reste efficace même avec 0.5 place par bus³. La gestion des itinéraires est comparativement plus efficace dans les contextes à 10 et 20 bus. La gestion des fréquences devient plus efficace lorsque le nombre de places disponibles pour un bus diminue, c'est-à-dire que la saturation du réseau augmente.

Spatialisation de la desserte

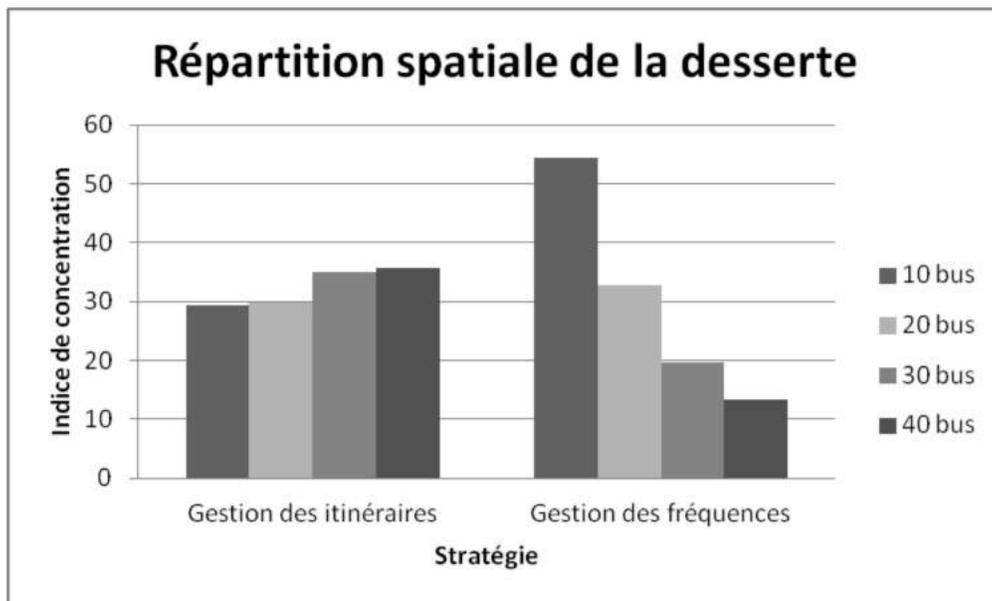


FIGURE 5.4 – Indice de concentration de la desserte en fonction de la stratégie et du nombre de bus - Modèle jouet

La répartition spatiale de la desserte (Figure 5.4) est assez stable et homogène pour la gestion des itinéraires. Une légère augmentation de la concentration est observable lorsque la saturation du réseau augmente. Il s'agit de l'apparition des embouteillages. Le meilleur rendement n'est pas atteint avec la desserte la plus homogène. Il semblerait qu'une certaine concentration soit nécessaire à un bon rendement pour cette stratégie.

Pour la gestion des fréquences, l'amplitude des résultats est beaucoup plus importante. La desserte est mieux répartie sur le réseau quand le nombre de bus augmente. En effet, avec

2. Le réseau compte 21 places de parking au total, réparties sur 7 arrêts. Cette configuration ne change pas au cours des simulations. Quand il y a 30 bus sur le réseau, il y a donc 0.7 place de parking disponible pour chaque bus.

3. Autrement dit, il y a deux bus pour une place de parking sur le réseau.

40 bus l'indice de concentration est bas, c'est-à-dire que la desserte est plutôt homogène. En effet, avec un grand nombre de bus, la stratégie de gestion des fréquences permet d'avoir des écarts très courts entre les bus. Les arrêts voient donc passer des bus avec peu d'intervalles. Cela crée une desserte plus homogène : tous les arrêts sont bien desservis. La comparaison avec la Figure 5.3 permet de constater que la desserte la plus homogène correspond à celle qui a le meilleur rendement. La stratégie de gestion des fréquences a un rendement élevé et une desserte homogène avec 40 bus en circulation.

Globalement, la gestion des itinéraires permet une répartition plus homogène avec un faible nombre de bus que la gestion des fréquences. Cependant, la gestion des fréquences permet avec beaucoup de bus d'atteindre un niveau d'homogénéité qui n'est jamais atteint par la gestion des itinéraires.

La confrontation du rendement (Figure 5.3) et de la répartition spatiale (Figure 5.4) des deux stratégies montre que celle de gestion des fréquences est plus efficace quand il y a beaucoup de bus. La stratégie de gestion des itinéraires quant à elle n'a pas un même contexte de prédilection concernant le rendement et la répartition spatiale. Le rendement est plus élevé avec 30 bus et la répartition spatiale plus homogène avec 10 bus.

Particularités des stratégies

Chacune des stratégies étudiées a une particularité qui relève du choix des équipages. Ces processus mettent en jeu la vitesse de circulation pour la stratégie de gestion des fréquences. Les bus peuvent ralentir, accélérer ou rester à vitesse normale. Pour la stratégie de gestion des itinéraires, les choix effectués par les agents-bus construisent des itinéraires pas à pas. Ainsi dans un cas la forme de la desserte est définie par des vitesses de circulation et dans l'autre par la succession des arrêts.

Dans le cas de la stratégie de gestion des fréquences (Figure 5.5), les choix stratégiques se répartissent entre les trois vitesses de circulation. Dans tous les cas, les choix d'attente et de course sont utilisés de manière équivalente. Leur proportion par rapport à la vitesse normale est par contre plus ou moins importante selon les initialisations. Plus le nombre de bus augmente moins la vitesse normale est utilisée. Ainsi les bus choisissent plus l'attente et la course. Globalement, les deux choix s'équilibrent. Leur utilisation augmente dans les contextes où le rendement est le plus élevé et où la répartition est la plus homogène. Autrement dit, la modulation de la vitesse de circulation est plus utilisée quand la saturation du réseau augmente. Elle permet au système d'être plus efficace en garantissant une adaptation permanente de la vitesse de circulation des agents-bus.

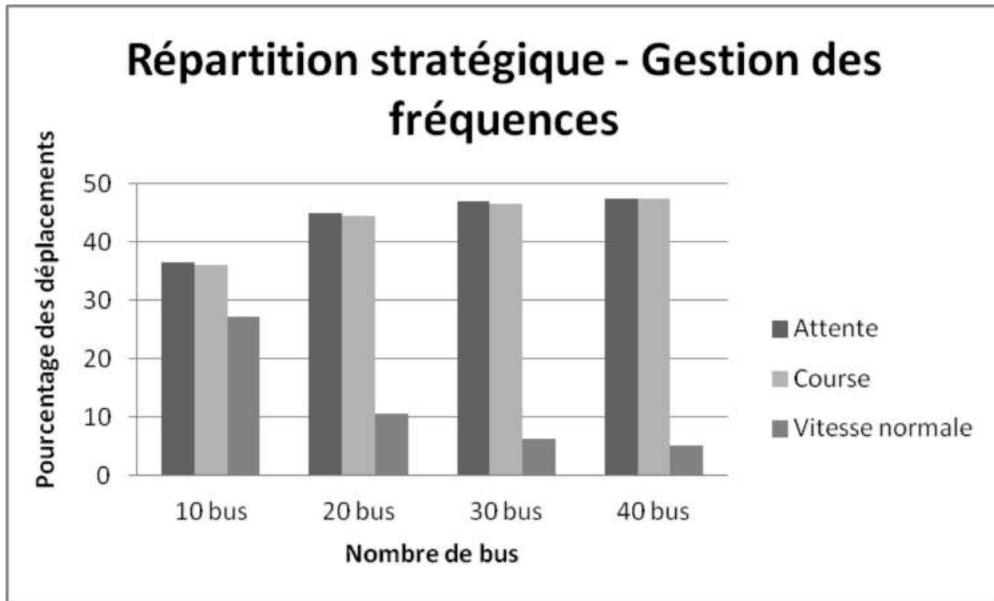


FIGURE 5.5 – Part des choix stratégiques pour la gestion des fréquences - Modèle jouet

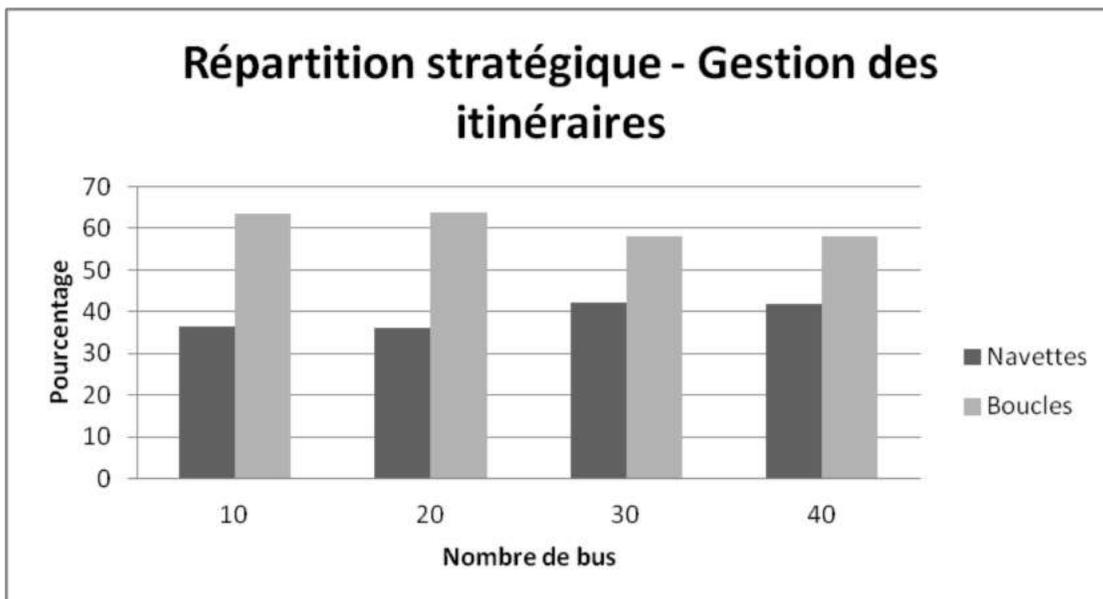


FIGURE 5.6 – Particularités stratégiques pour la gestion des itinéraires - Modèle jouet

La stratégie de gestion des itinéraires permet de construire des déplacements de proche en proche. Le classement des arrêts que créent les agents-bus conditionne en partie leur choix de destinations. Étant donné que la demande est homogène dans ce modèle, ce classement est d'autant plus important dans la construction de la desserte. Quand un agent-bus est seul sur le réseau, le classement génère un effet de balancier : le bus se contente de faire des aller-retour entre les deux premiers arrêts de leur classement. Lorsqu'il y a d'autres véhicules sur le réseau, ce classement a plutôt pour effet de créer une répartition des arrêts les mieux notés pour chaque agent. En effet, dans un contexte comme celui-ci où l'environnement est homogène, la seule chose qui va différencier les arrêts entre eux est la présence d'autres agents-bus. Ainsi après un moment de calibrage où les bus se repoussent les uns les autres de manière binaire, ils explorent peu à peu le réseau et une répartition se met en place. Les têtes de classement sont peu éloignées les unes des autres et une rotation se met en place entre plusieurs arrêts. Nous pouvons observer pour chaque agents-bus la manière dont se répartissent ces arrêts dans l'itinéraire du véhicule. Les structures qui apparaissent sont de deux types : soit le bus fait une boucle entre plusieurs arrêts (du type A-B-C-D-A-B-C-D-A ...), soit son itinéraire prend la forme d'une navette (du type A-B-C-B-A-B-C-B-A ...).

La proportion réciproque de ces itinéraires change en fonction de la saturation du réseau. De manière générale, il y a plus de boucles que de navettes. Plus le réseau est saturé plus les proportions de chaque forme d'itinéraires sont équilibrées. Les situations où la desserte est la plus concentrée (Figure 5.4) correspondent à celles où les proportions des itinéraires sont les plus équilibrées (Figure 5.6). Il y a peu d'écart de formes d'itinéraires entre la configuration au rendement le plus élevé (30 bus) et celle à 40 bus où le rendement baisse à nouveau (Figure 5.3). Finalement, une meilleure répartition des types d'itinéraires ne garantit pas une desserte plus efficace.

Ce modèle a principalement une fonction pédagogique. Il permet également une meilleure formalisation des processus. En effet, il propose un environnement particulièrement neutre : le contexte y est envisagé de manière globale. Les particularités locales des arrêts ou du réseau ont disparu. Nous connaissons ainsi mieux les réactions et les particularités des stratégies étudiées. Cependant, l'intérêt de ce modèle s'arrête ici. Il ne permet pas de questionner plus avant les facultés d'adaptation des stratégies, ni les paramètres qui influencent les structures et les dynamiques spatiales de celles-ci.

5.2 Le choix et la construction des environnements : définition de contextes urbains théoriques

Les environnements élaborés pour la suite de notre exploration ont pour objectif de tester les stratégies étudiées dans des contextes urbains théoriques. Nous pourrions ainsi mesurer l'importance de chacun des paramètres de l'environnement sur les structures et les dynamiques spatiales de la desserte. Les contextes urbains sont définis par leurs caractéristiques de réseau et de demande. La forme des infrastructures conditionne les flux de circulation. De la même manière, la demande oriente la desserte. Les autres éléments de contexte concernent le service de transport en lui-même. Le nombre d'agents-bus et les prix des tickets jouent un rôle sur la rentabilité et la concurrence dans le service. Étant donné que les agents-bus ont le rôle central dans la construction de la desserte, ces paramètres jouent un rôle important. Ils influent directement sur les interactions au niveau individuel et donc sur les structures émergentes.

5.2.1 Réseaux et Demandes

Les configurations de réseau et de demande permettent de générer des environnements plus ou moins polarisés. Ces modèles urbains s'inspirent des structures intra-urbaines observées. Il s'agit de tenter de reproduire des caractéristiques types, et en ce sens volontairement caricaturales, des villes du monde. Les réseaux peuvent être centrés sur certains arrêts ou au contraire être très connexes. La demande peut être homogène ou avoir des origines et des destinations structurées autour d'un petit nombre d'arrêts.

Réseaux

Nous proposons d'utiliser deux formes de réseau :

- **Réseaux quadrillés** - Le premier est un réseau de type Manhattan (Figure 5.7). Il fait référence aux structures fréquentes dans les centres-villes américains ou dans les villes coloniales d'Amérique Latine [Musset, 1997] et d'Afrique ainsi que dans la célèbre presque new-yorkaise [Maxemchuk, 1987]. Ce réseau se caractérise par des nœuds alignés horizontalement et verticalement. Dans le premier cas, ils sont reliés par des segments horizontaux et verticaux, qui se croisent donc à angle droit. Chaque individu a ainsi 4 voisins directs. Nous proposons un second réseau qui ajoute au premier des liens en diagonales des carrés formés par les segments verticaux et horizontaux.

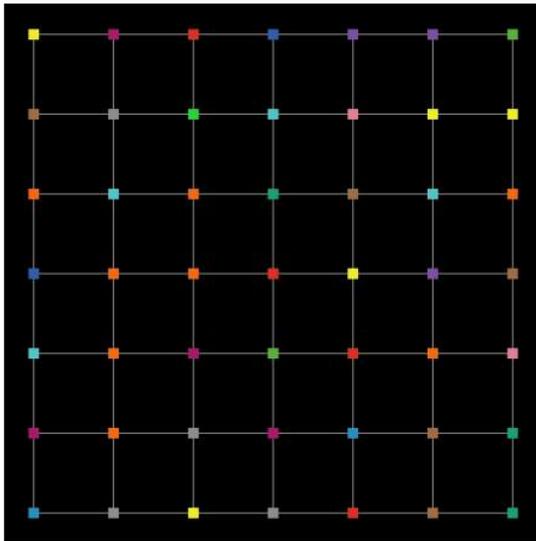


FIGURE 5.7 – Réseau de type Manhattan

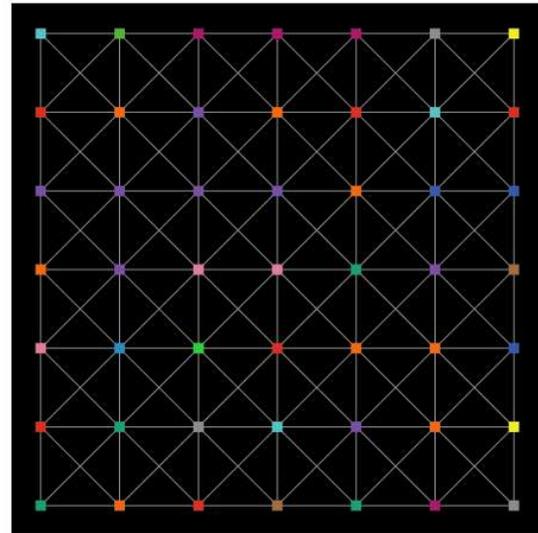


FIGURE 5.8 – Réseau quadrillé doublement

Chaque nœud est ainsi relié à ses huit voisins (Figure 5.8). Cette forme se retrouve dans plusieurs modèles de développement des réseaux de transport [Taaffe et al., 1963] [Dupuy, 1991] [Aderamo, 2013].

- **Réseau en étoile** - Le réseau en étoile se caractérise par la présence d'un nœud central relié à un certain nombre d'autres nœuds disposés en cercle autour de lui, ces derniers n'étant pas reliés entre eux. Chacun de ces nœuds est également relié à d'autres nœuds en cercle autour de lui. Nous avons ainsi deux niveaux de centralité : le centre qui regroupe d'autres centres et ceux qui regroupent uniquement des nœuds avec un seul lien. Nous proposons de faire appel à ce type de réseau avec trois et sept voisins (Figure 5.9 et 5.10). Cette forme se retrouve dans plusieurs modèles de réseaux urbains [Batty and Longley, 1986] [Frankhauser, 1997]. Les réseaux en étoile ont pour objectif de générer des environnements centrés sur plusieurs nœuds. Ces structures polycentriques plus ou moins éclatées correspondent à des formes urbaines diverses, planifiées ou non. Ces modèles représentent des organisations créées par l'étalement urbain des métropoles, que ce soit en Europe [Le Néchet, 2015] ou ailleurs dans le monde [Joly et al., 2003]. Cependant, ce polycentrisme doit être nuancé pour certaines

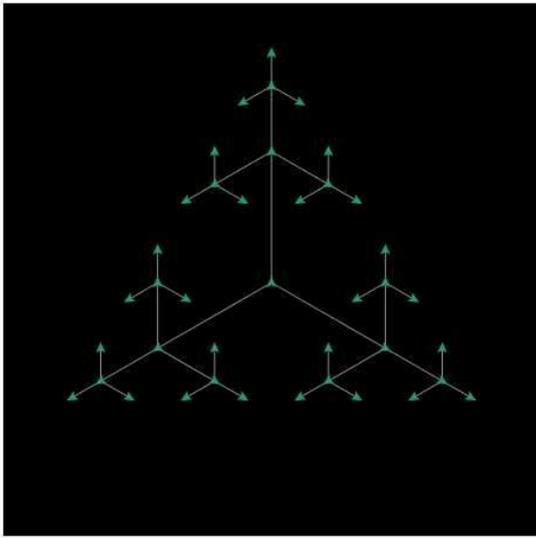


FIGURE 5.9 – Réseau en étoile à 3 voisins

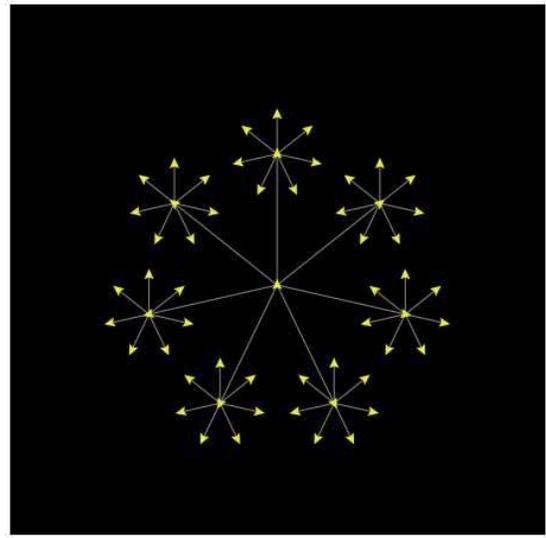


FIGURE 5.10 – Réseau en étoile à 7 voisins

viles européennes [Servais et al., 2004]. Nous le ferons en utilisant la répartition de la demande.

Demandes

La demande est générée suivant trois répartitions différentes : homogène, concentrée, dispersée. Techniquement, chaque arrêt se voit attribuer aléatoirement une valeur qui correspond à sa place dans la hiérarchie de la demande globale. Autrement dit, cette valeur indique quelle part des usagers a cet arrêt pour origine et quelle part des usagers a cet arrêt pour destination. Les origines et destinations sont équivalentes pour simplifier la modélisation.

Les valeurs-usagers pour chaque arrêt sont attribuées aléatoirement. La forme de cet aléa change en fonction de la répartition voulue. Dans une demande concentrée, l'aléa génère beaucoup de valeurs faibles et peu de valeurs hautes. Dans une demande dispersée, l'aléa crée une répartition des valeurs qui suit une loi normale, c'est-à-dire qu'il y a beaucoup de valeurs moyennes et peu de valeurs extrêmes. La demande homogène, comme son nom l'indique, attribue une valeur équivalente pour tous les arrêts. Un profil de demande peut être généré au début de chaque simulation. Cependant pour la validité de nos expériences, les simulations qui représentent un ensemble se basent toutes sur le même tirage. Concrètement, nous générons un environnement qui couple une forme de réseau et une forme de demande. Celui-ci est ensuite

sauvegardé et réutilisé pour toute l'expérience grâce aux fonctions *Import / Export World* de Netlogo.

Spatialement, la répartition de ces aléas n'est pas contrainte. Autrement dit, les valeurs se répartissent de façon aléatoire dans le réseau des arrêts de bus. De cette façon, aucune centralité n'est créée artificiellement. Certains nœuds correspondent à des pôles de demande, mais ils ne sont pas forcément placés au centre du réseau.

L'utilisation de plusieurs profils de demande permet de différencier l'effet de la répartition des usagers des autres éléments de l'environnement. D'autre part, cette variable d'entrée participe de l'apparition d'un contexte urbain type plus nuancé grâce au fait que la structure du réseau est différenciée de la répartition de la demande.

5.2.2 Nombre de bus et Prix du ticket

Nombre de bus

La variable du nombre d'agents-bus est une variable que nous avons beaucoup étudiée dans les deux modèles précédents. L'environnement des deux premiers modèles est très contraint par les nombreuses données. Nous avons donc fait varier le nombre de véhicules en circulation sur le réseau. Cette variable d'entrée a mis en valeur les réactions des modèles à la saturation du réseau et souligné certaines spécificités. La stratégie de gestion des itinéraires dans le cas de Brazzaville s'adapte aux embouteillages puisque les véhicules cherchent de nouveaux arrêts en permanence. Mais une fois que le réseau est saturé, les embouteillages apparaissent rapidement sur les arrêts les plus demandés. Dans le cas de la stratégie de gestion des fréquences à Lima, le système fonctionne mieux à partir d'un certain nombre de bus pour pouvoir desservir tous les itinéraires et il s'adapte bien à l'augmentation du nombre de bus puisqu'ils circulent à bonne distance les uns des autres.

Cette variable du nombre de bus est au cœur de notre démarche puisqu'elle nous a permis de faire de nouvelles hypothèses sur l'influence de l'environnement sur les transports artisanaux que nous modélisons. Le fait de l'analyser de nouveau dans des contextes théoriques permet de questionner l'adaptation des modèles à la saturation du système dans plusieurs environnements différents. D'autre part, l'importance de cette variable pourra être nuancée par l'ajout d'autres pistes de réflexion liées à d'autres variables.

Prix du ticket

La variable du prix du ticket est une variable qui était fixée dans les modèles précédents. Il s'agit d'une variable qui questionne le rapport entre les coûts et les bénéfices pour les agents-bus. Cependant, elle n'a pas d'effet sur les usagers puisque ceux-ci n'intègrent pas de stratégies liées aux prix. L'utilisation de modèles abstraits permet de détacher nos modèles des contextes urbains liméniens et brazzavillois. Cette variable est au centre des stratégies. Elle fonctionne de manière relative. Autrement dit, ce n'est pas le caractère réaliste des bénéfices qui est pris en compte, mais leur grandeur relative les uns par rapport aux autres. Le fait que les bénéfices soient négatifs ne serait pas soutenable dans la réalité, mais dans ce modèle cela n'empêche pas les bus de hiérarchiser leurs choix.

5.2.3 Expériences

À partir des environnements générés, nous avons effectué un certain nombre de simulations pour chacune des stratégies. Les environnements générés croisent :

- 4 formes de réseau (quadrillé avec 4 ou 8 voisins, en étoile avec 3 ou 7 voisins (Figure 5.7 à 5.10))
- 3 formes de demande (homogène, concentrée, dispersée)
- 5 profils d'offre (10, 20, 30, 40 et 50 agents-bus)
- 4 modalités pour la variable économique (40, 60, 80 et 100 unités monétaires par ticket pour un voyage d'un passager)

Nous avons donc 240 initialisations différentes. 100 simulations ont été effectuées pour chacune d'elle. Les résultats de ces 24 000 expériences ont été analysés de la façon suivante.

Les variables de sortie de ces modèles sont inspirées des modèles précédents :

- Le rendement moyen
- L'indice de concentration de la desserte
- Les bénéfices moyens. Ce paramètre a été ajouté puisqu'il n'est plus fixé sur la réalité des contextes économiques locaux.

Les précédents modèles ont confirmé l'influence des stratégies individuelles sur les structures et les dynamiques spatiales des systèmes. De nouvelles hypothèses sont apparues par la suite et nous avons fait le choix d'une nouvelle série d'expériences pour aller plus loin dans l'analyse. Ainsi, ces expériences ont pour objectif de mesurer la validité des hypothèses suivantes :

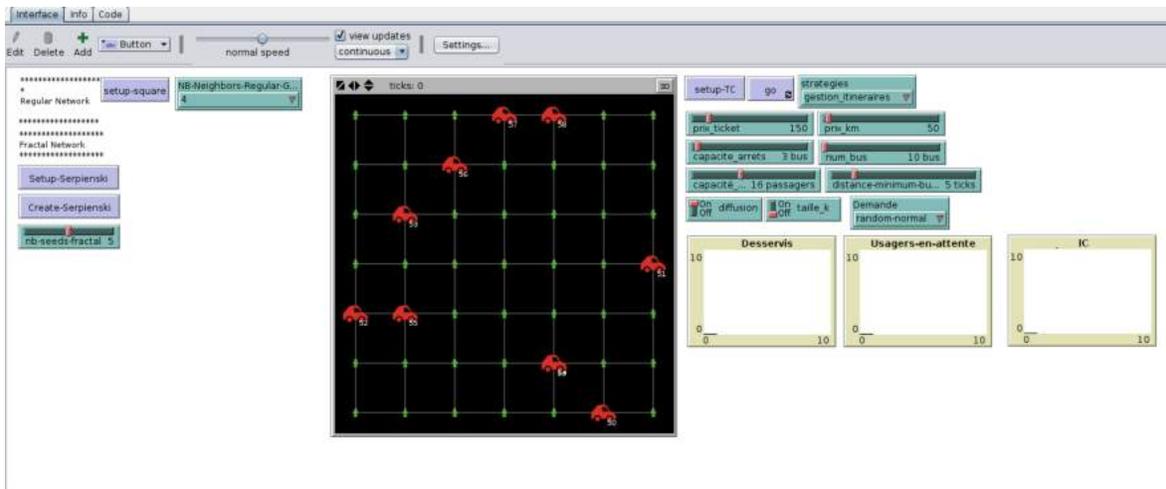


FIGURE 5.11 – Interface du modèle sous *Netlogo*

- La stratégie de gestion des itinéraires et la stratégie de gestion des fréquences ne font pas émerger les mêmes structures spatiales
- Les caractéristiques de l’environnement urbain jouent un rôle dans le processus de structuration de la desserte
- L’efficacité des stratégies diffère selon le contexte urbain
- La forme du réseau, la structure de la demande et le prix du ticket influencent les structures et les dynamiques des systèmes
- La stratégie de gestion des fréquences s’adapte mieux à la saturation du réseau que la stratégie de gestion des itinéraires

L’interface du modèle (Figure 5.11) permet de paramétrer le type de stratégie, le nombre de bus, la forme du réseau, celle de la demande et le prix du ticket. L’environnement de simulation affiche les localisations des usagers et des bus qui se déplacent sur le réseau. Des graphiques permettent de suivre l’état d’avancement de la simulation. L’utilisateur peut ainsi observer l’évolution du nombre d’usagers desservis, des usagers en attente et de l’indice de concentration de la desserte.

5.3 Résultats : efficacité des configurations, quelle stratégie pour quel contexte urbain ?

Chacune de nos variables de sortie correspond à un type d'efficacité particulier. Il s'agit de trois types d'échelles de valeurs qui permettent de mesurer et de qualifier les structures et les dynamiques du système.

En fonction du point de vue adopté, un système de transport peut être considéré comme efficace s'il dessert un grand nombre d'usagers, ce qui correspondrait à un positionnement social sur la question. De la même manière, les bénéfices générés sont un indicateur d'efficacité selon un angle économique. La structure spatiale de la desserte ne peut pas faire l'objet d'une telle lecture : il n'y a pas de hiérarchie qualitative entre une desserte homogène et une desserte concentrée. Ainsi, si on se place uniquement dans un questionnement qui s'intéresse à l'espace pour lui-même, le problème de l'efficacité ne se pose pas. La forme spatiale est et évolue, voilà tout. Cependant, elle correspond plus ou moins avec une efficacité sociale ou économique du système.

L'observation des variables de sortie du modèle montre que leur valeur diffère selon les configurations. Autrement dit, les configurations favorisent chacune un certain type d'efficacité.

Nous pourrions mettre en place un indice de performance pour mesurer l'efficacité de ces systèmes de transport. La performance d'un système de transport peut être mesurée selon un certain nombre de critères pondérés en fonction des besoins [Egmont et al., 2003]. Ces indicateurs sont principalement utilisés pour objectiver les résultats d'aménagements ou de politiques publiques [Gudmundsson, 2003].

Cependant, nous souhaitons mettre en avant les spécificités de chaque configuration. Un indice de performance aurait pour effet d'accentuer la comparabilité des systèmes, mais cela ne nous permettrait pas de comparer les points forts et les points faibles de chaque cas [Cobb, 1998]. Notre démarche s'intéresse plus précisément aux différents aspects des systèmes de transport. Nous ne sommes pas en mesure de pondérer chacun de ces aspects par rapport aux autres. Cela reviendrait à intégrer des dimensions subjectives en hiérarchisant l'importance de l'efficacité économique par rapport à l'efficacité sociale [Dooren and Walle, 2008]. Il pourrait s'agir d'un développement intéressant dans un second temps et dans une démarche de modélisation d'aide à la décision.

De la même manière, l'indice de concentration de la desserte que nous utilisons pour analyser les structures spatiales de la desserte est construit dans une réflexion spatiale et non territoriale [Claval, 2008]. Autrement dit, nous nous intéressons plus aux configurations de

l'espace qu'aux constructions sociales, culturelles ou juridiques qui sont liées au territoire [Brunet et al., 1993]. La desserte produite par nos modèles est observée sous l'angle de sa forme spatiale (plus ou moins concentrée ou homogène). Ce positionnement ne tient donc pas compte de la conformité de cette structure avec les maillages territoriaux de l'agglomération ou les espaces vécus [Frémont, 1999] des chauffeurs ou des usagers.

Une nouvelle fois, le territoire dans toute sa complexité est une notion qui pourrait être mobilisée dans une démarche d'aménagement [Moine, 2006]. Il s'agit pourtant d'une notion limitée en ce qui concerne les problèmes de développement. Ces derniers nécessitent une prise en compte de relations multiscalaires et non la construction de territoires de projets [Gisclard et al., 2016].

À ce stade de notre travail, nous souhaitons nous intéresser aux structures spatiales qui émergent des systèmes de transport artisanaux. Les questions d'aménagement que ce soit en termes de performances ou de territorialité auraient leur place dans une démarche plus opérationnelle. Notre objectif n'est pourtant pas de désincarner les systèmes de transport artisanaux : nos modèles font émerger un squelette que nous habillerons dans le chapitre suivant.

5.3.1 Stratégie de gestion des itinéraires

Commençons par la stratégie de gestion des itinéraires. Les résultats sont différents en fonction des environnements générés. Les variables étudiées ont une influence sur les structures émergentes. Finalement, cette stratégie s'adapte mieux à certains contextes urbains.

Le nombre d'usagers desservis - Figure 5.12

Le nombre d'usagers desservis est plus important dans le cas d'un réseau quadrillé⁴. Ce type d'environnement permet aux agents-bus de construire des itinéraires directs entre deux points. La stratégie de gestion des itinéraires est particulièrement efficace dans ce cas. Les agents circulent plus rapidement que dans le cas d'un réseau en étoile.

La distribution gaussienne de la demande fournit une demande moyenne pour la majorité des arrêts. Ainsi les véhicules font peu de voyages à vide ou complet, et le nombre d'usagers desservis est globalement plus important.

4. Dans la suite de l'analyse nous avons regroupé les différentes formes de réseau en deux catégories : le réseau quadrillé correspond à la forme Manhattan (Figure 5.7) et quadrillé doublement (Figure 5.8), le réseau en étoile correspond aux formes en étoile à 3 et à 7 voisins (Figures 5.9 et 5.10).

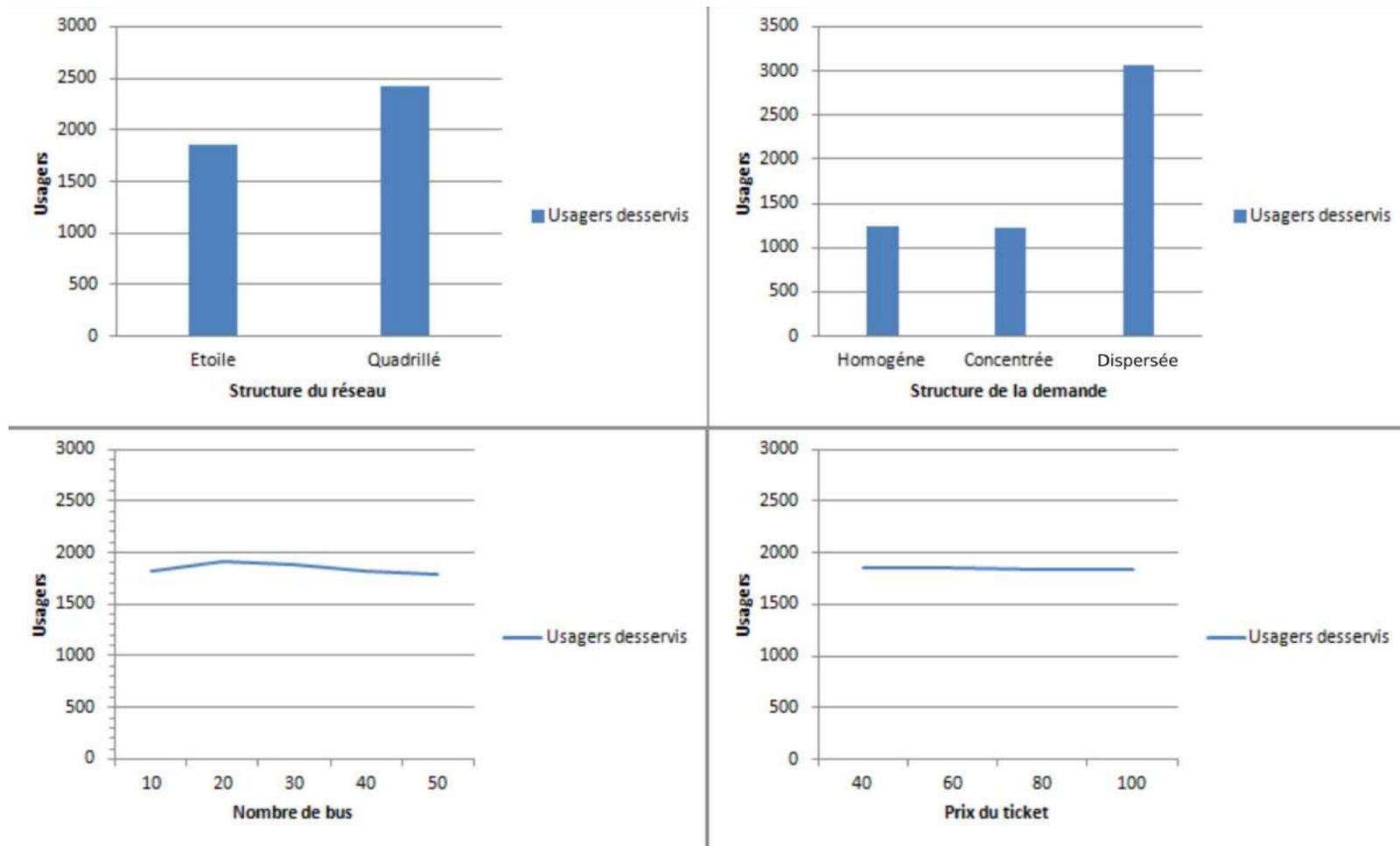


FIGURE 5.12 – Nombre d’usagers desservis en fonction des variables de sortie (Gestion des itinéraires)

L'augmentation du nombre d'agents-bus a un effet plus léger que les deux autres variables sur le nombre d'usagers desservis. Le changement observé, bien que faible, montre que les usagers desservis sont de moins en moins nombreux à partir d'un certain nombre de bus. La stratégie semble bien s'adapter et éviter la saturation du réseau, jusqu'à un certain seuil au-delà duquel les embouteillages commencent à apparaître. Le système perd en efficacité à ce moment-là.

Pour ce qui est du prix du ticket, on remarque qu'il n'a aucune influence sur le nombre d'usagers desservis. Il s'agit là d'une des limites de notre modélisation. Nous nous intéressons plus à l'offre de transport, à travers les stratégies des agents-bus, qu'à la demande. Les usagers n'ont pas de stratégie et ils sont simplement programmés pour monter dans le véhicule qui va dans la bonne direction. En réalité, des variations de prix auraient un effet sur les choix de déplacement des usagers, mais cela ne fait pas partie de notre modèle. Cela pourrait définir la trame d'un des futurs développements de ce travail.

En ce qui concerne l'absence d'influence du prix des tickets sur le nombre d'usagers desservis, la circulation des agents-bus repose sur une fonction d'utilité qui intègre le coût du trajet et ce qu'il rapporte. Une augmentation généralisée des prix des tickets modifie ce rapport de manière homogène et n'a donc pas d'effet sur la stratégie de gestion des itinéraires à proprement parler. Une augmentation des prix des tickets différenciée spatialement, dans les zones à faible ou à forte demande, aurait un effet sur le nombre d'usagers desservis.

Finalement, pour avoir un système efficace en termes d'usagers desservis, la stratégie de gestion des itinéraires est plus efficace dans un environnement défini par un réseau quadrillé et une demande dispersée. D'autre part, dans ces conditions un nombre de bus moyen est également nécessaire.

La structure spatiale de la desserte - Figure 5.13

En termes de structures spatiales, l'observation de la concentration globale de la desserte montre une absence d'homogénéité. Le réseau en étoile produit la desserte la plus concentrée, ce qui correspond à l'intuition générale. Au contraire, le réseau quadrillé permet de construire des itinéraires plus directs entre les points et ne crée pas artificiellement de nœuds centraux.

Étant donné que la stratégie de gestion des itinéraires suit la demande, il est logique qu'une demande plus concentrée génère une desserte plus concentrée. Le fait que la demande dispersée appelle une demande plus équitablement répartie que la demande homogène paraît plus surprenant. En réalité, une demande répartie de manière égale dans tous les arrêts ne donne plus vraiment d'orientation aux agents-bus. La demande est la même pour tous les arrêts

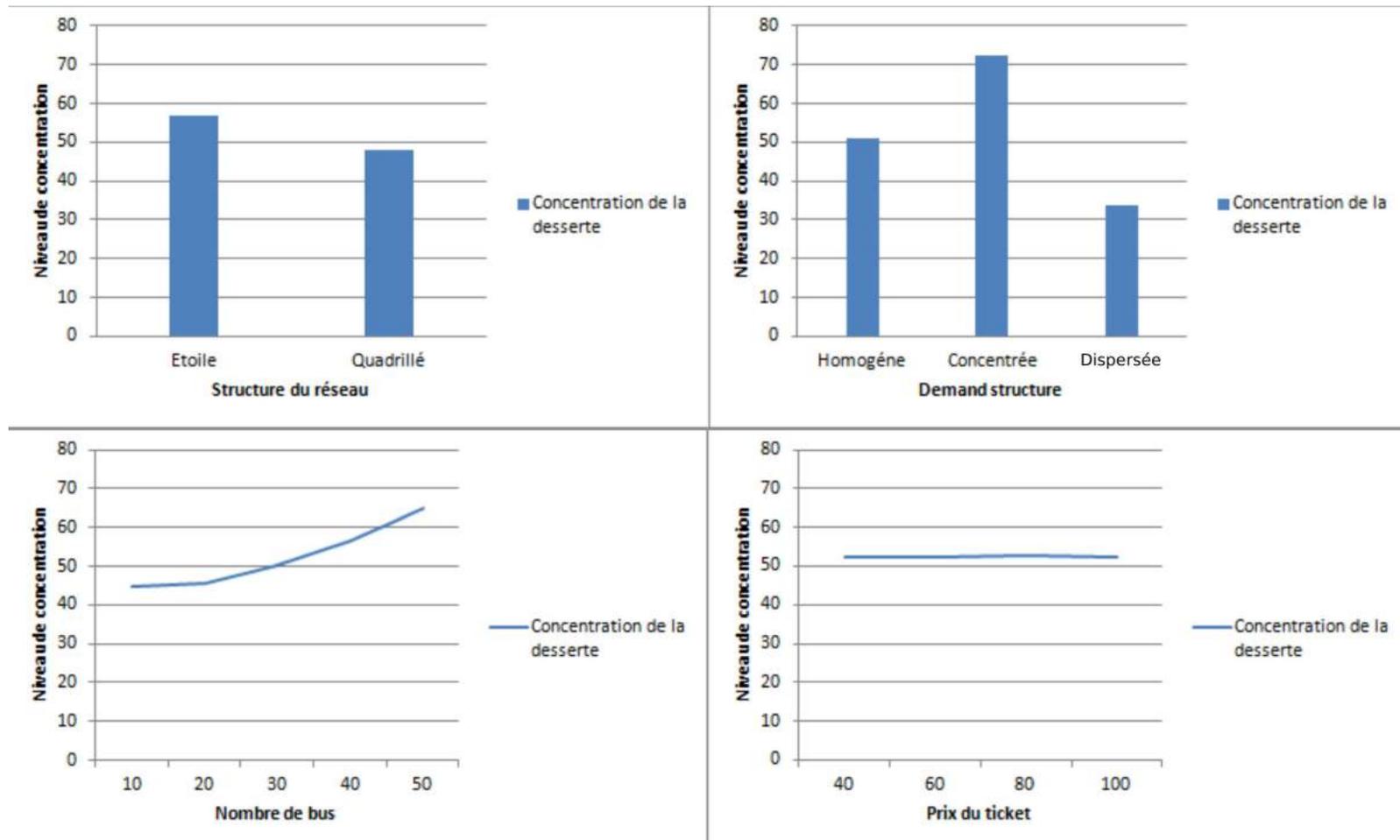


FIGURE 5.13 – Concentration de la desserte en fonction des variables de sortie (Gestion des itinéraires)

et les liens ont tous la même longueur dans nos réseaux artificiels. Plus rien ne différencie les trajets pour les agents bus. Ceux-ci circulent donc de manière aléatoire. La stratégie de gestion des itinéraires répond à une demande dispersée en desservant en premier lieu les arrêts les plus rentables puis la concurrence oblige les agents-bus à chercher de nouveaux arrêts. Ainsi les arrêts avec une demande moyenne sont desservis par la suite. Leur grand nombre fait émerger une desserte spatialement plutôt homogène puisque seul le petit nombre d'arrêts à faible demande est délaissé.

L'augmentation du nombre de bus fait augmenter la concentration de la desserte à partir d'un certain seuil. En effet, les agents-bus évitent les arrêts les plus desservis dans la mesure du possible. au-delà d'un certain seuil, des embouteillages apparaissent et la concentration augmente.

Le prix des tickets n'a aucune influence sur la répartition spatiale de la desserte. Les prix variant de manière globale, il semble logique qu'il n'y ait aucune modification spatialement.

Finalement, la répartition spatiale de la desserte est plus homogène avec un réseau quadrillé, une demande dispersée et un nombre de bus moyen. Dans ce contexte, la répartition des itinéraires produit une desserte au rendement plus élevé et plus homogène. Ces deux types de caractéristiques se rejoignent.

Les bénéfices - Figure 5.14

Les bénéfices générés par le système sont plus importants avec un réseau en étoile. Cette forme oblige les bus à emprunter certains itinéraires. Les déplacements des véhicules sont centralisés autour du nœud principal du réseau qui devient un arrêt de correspondance pour les usagers. Les bus construisent ainsi des trajets entre le nœud central et un nœud périphérique. Ils sont moins coûteux puisqu'ils ne comportent qu'un seul lien à parcourir.

Les bénéfices sont plus importants avec une demande plus concentrée. En effet, les bus font des déplacements à plein dans les zones les plus demandées et ils ne desservent quasiment pas les zones à faible demande. Ainsi, ils ne perdent pas d'argent à faire des déplacements non pleins.

Le nombre de bus le plus important permet de créer plus de bénéfices en moyenne puisque tous les bus prennent des passagers. Dans ce contexte, des embouteillages se forment, mais les bénéfices des bus n'en sont pas fortement réduits puisqu'ils ont des passagers.

L'augmentation du prix du ticket permet évidemment d'avoir plus de bénéfices moyens.

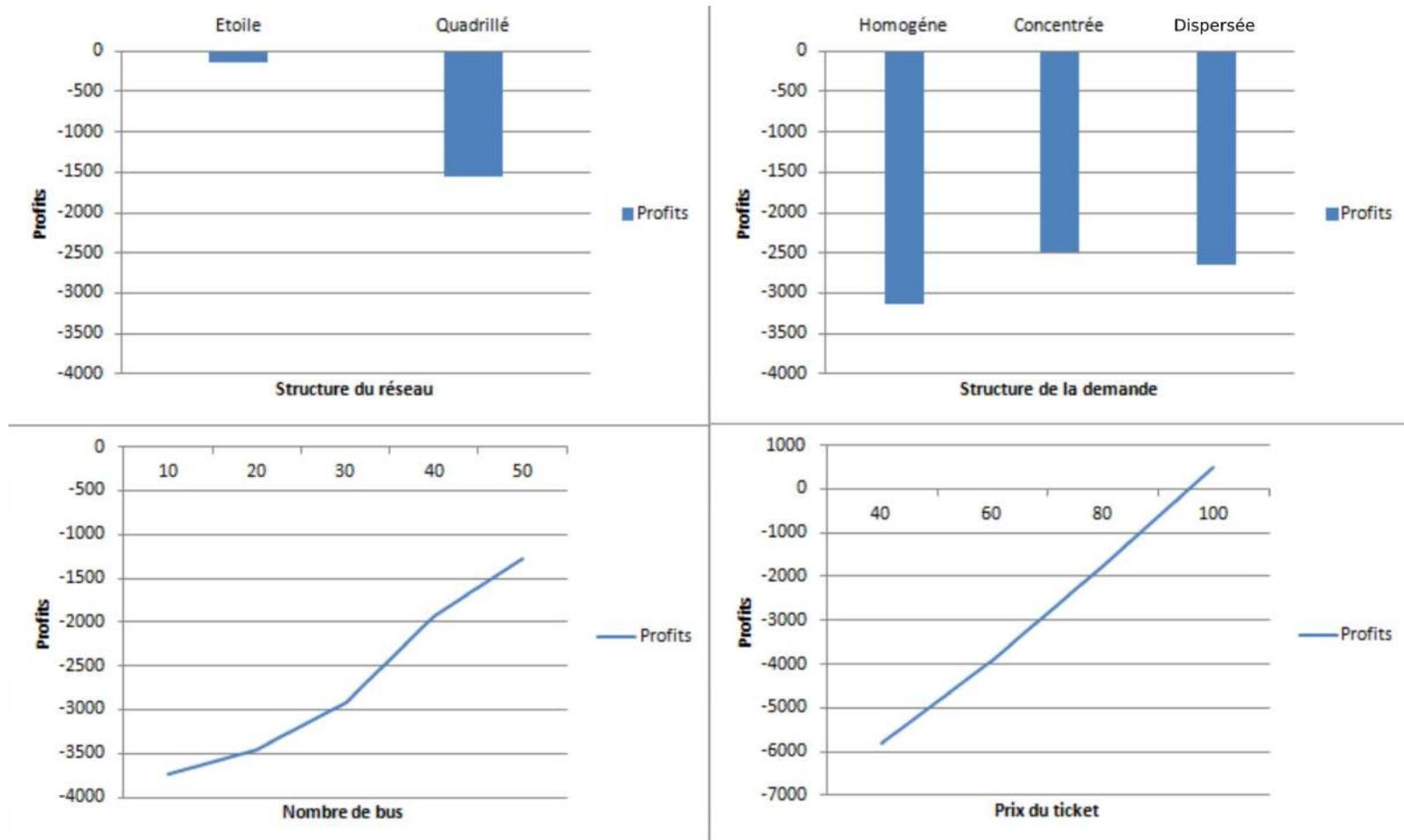


FIGURE 5.14 – Profits en fonction des variables de sortie (Gestion des itinéraires)

Finalement, la stratégie de gestion des itinéraires génère une desserte plus rentable dans le cas d'un réseau en étoile avec une demande concentrée et un nombre important de véhicules. Cette configuration est opposée à un fort rendement et à une répartition spatiale homogène.

5.3.2 Stratégie de gestion des fréquences

Pour la stratégie de gestion des fréquences, les variables d'entrée et de sortie restent les mêmes que dans le cas précédent. Les structures observées varient en fonction des paramètres d'initialisation.

Le nombre d'usagers desservis - Figure 5.15

Le nombre d'usagers desservis évolue en fonction de la forme du réseau. Un réseau en étoile permet au système de desservir plus d'usagers qu'un réseau quadrillé. En effet, dans le modèle de la stratégie de gestion des fréquences, les itinéraires sont fixes, moins il y a d'itinéraires possibles plus la desserte est efficace. Les bus couvrent mieux le réseau. D'autre part, le réseau en étoile crée des arrêts centraux où se croisent les itinéraires. Ces points deviennent des zones de correspondance dans les trajets des usagers. La forte fréquentation de ces points accélère les trajets des usagers : les temps de correspondance sont plus courts.

De ce point de vue, la demande dispersée est également plus efficace que les autres. En effet, comme dans le cas précédent, cette configuration permet d'avoir une demande moyenne dans la majorité des arrêts. Les agents-bus effectuent donc peu de trajets à plein, peu de trajets à vide. Ils affichent un remplissage moyen la plupart du temps, ce qui permet de desservir plus d'usagers que d'autres modes de répartition de la demande.

L'augmentation du nombre de bus permet au système d'être de plus en plus efficace. La stratégie de gestion des fréquences équilibre en permanence les écarts entre les bus. Ainsi, les embouteillages sont évités au profit d'un ralentissement global de la circulation. Le système tire profit du nombre croissant des agents-bus en minimisant le temps passé à attendre qu'une place se libère aux arrêts. Le nombre d'usagers desservis est donc de plus en plus important avec l'augmentation du nombre de bus.

Comme précédemment, le nombre d'usagers desservis n'est pas influencé par le prix du ticket. Cette variable n'entre pas en ligne de compte pour les agents-usagers, qui n'ont en réalité pas de stratégie propre dans ce modèle. Pour les agents-bus, il s'agit d'une échelle de valeurs relatives. Elle permet la construction des stratégies en fournissant une unité de mesure, mais la valeur réelle des prix est sans importance.

Finalement, le nombre d'usagers desservis est plus important pour la stratégie de gestion des fréquences quand le réseau est en étoile, la demande dispersée et le nombre de bus important.

La structure spatiale de la desserte - Figure 5.16

Le réseau quadrillé crée une desserte plus concentrée que le réseau en étoile. Dans le réseau quadrillé, il y a plus d'itinéraires possibles que dans le réseau en étoile. Dans un contexte où les bus restent bloqués sur un seul itinéraire pendant toute la simulation, cela explique l'écart de fréquentation des arrêts. Dans le réseau en étoile, il y a plus d'arrêts qui sont parcourus par plusieurs itinéraires. Alors que dans le réseau quadrillé, il y a plus d'itinéraires possibles, moins d'arrêts où se croisent des itinéraires.

Cette différence de concentration de la desserte est principalement due au fait qu'il y a plus d'arrêts dans le réseau quadrillé que dans le réseau en étoile. Les itinéraires fixes de ce modèle ne peuvent permettre une desserte homogène que s'ils sont très nombreux lorsqu'il y a beaucoup d'arrêts. Mais pour augmenter le nombre d'itinéraires, il faut aussi augmenter le nombre de bus. Ainsi, le niveau de concentration de la desserte diminue lorsque le nombre de bus augmente en partie parce qu'ils permettent de créer plus d'itinéraires. D'autre part, l'augmentation du nombre de bus génère une desserte de plus en plus homogène pour d'autres raisons. En effet, les fréquences de passage à chaque arrêt sont plus importantes. Les agents-bus circulent de plus en plus lentement. Ils desservent tous les arrêts plusieurs fois alors que quand les véhicules sont peu nombreux, seuls les arrêts où des itinéraires se croisent sont plus fréquentés.

La structure spatiale de la desserte ne se modifie pas fondamentalement en fonction de la demande ni du prix du ticket. En effet, les itinéraires étant fixés dès le départ, les différentes demandes ne changent rien.

Finalement, dans le cadre de la stratégie de gestion des fréquences la desserte la plus homogène se développe lorsque le réseau est en forme d'étoile et le nombre de bus important.

Les bénéfices - Figure 5.17

Les bénéfices moyens des agents-bus sont plus importants dans le cas d'un réseau quadrillé. Cette configuration permet aux itinéraires de moins se croiser et les embouteillages sont moins fréquents. D'autre part, les bénéfices sont plus importants parce que les bus embarquent plus d'usagers qu'ils ne parcourent de distance. Dans un réseau quadrillé, les itinéraires sont plus directs, donc moins longs et moins coûteux pour les bus : le rapport entre le coût du

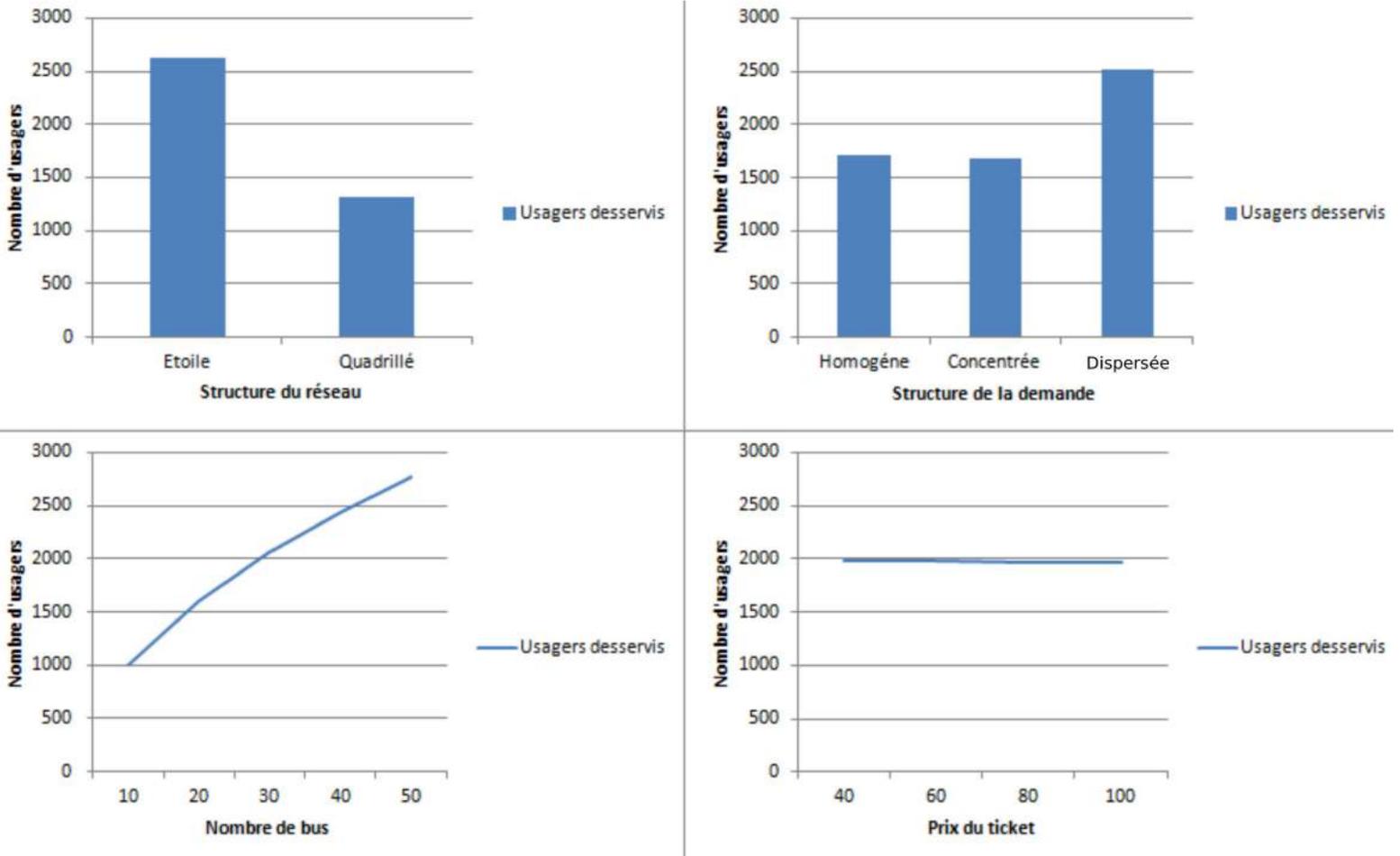


FIGURE 5.15 – Nombre d’usagers desservis en fonction des variables de sortie (Gestion des fréquences)

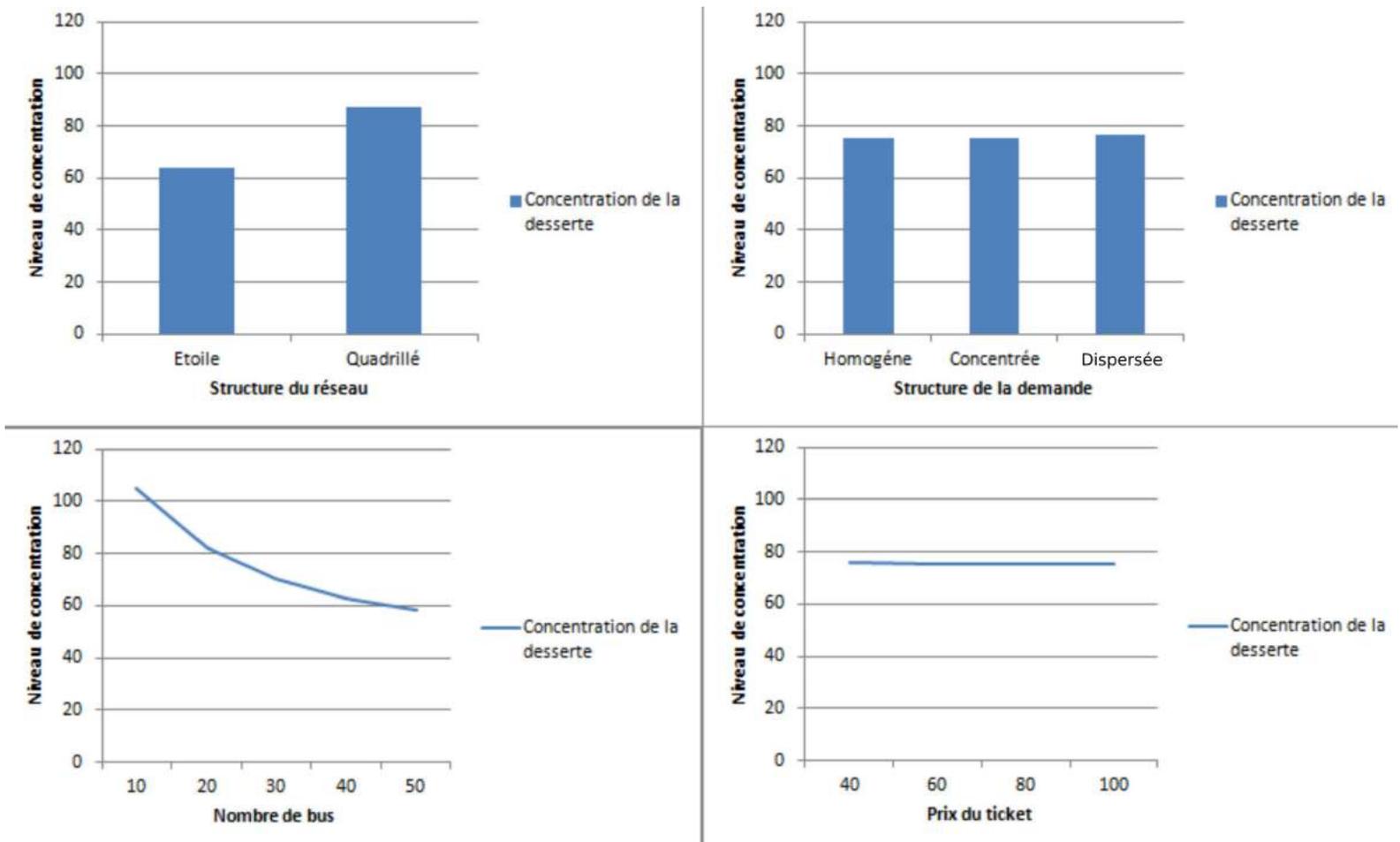


FIGURE 5.16 – Concentration de la desserte en fonction des variables de sortie (Gestion des fréquences)

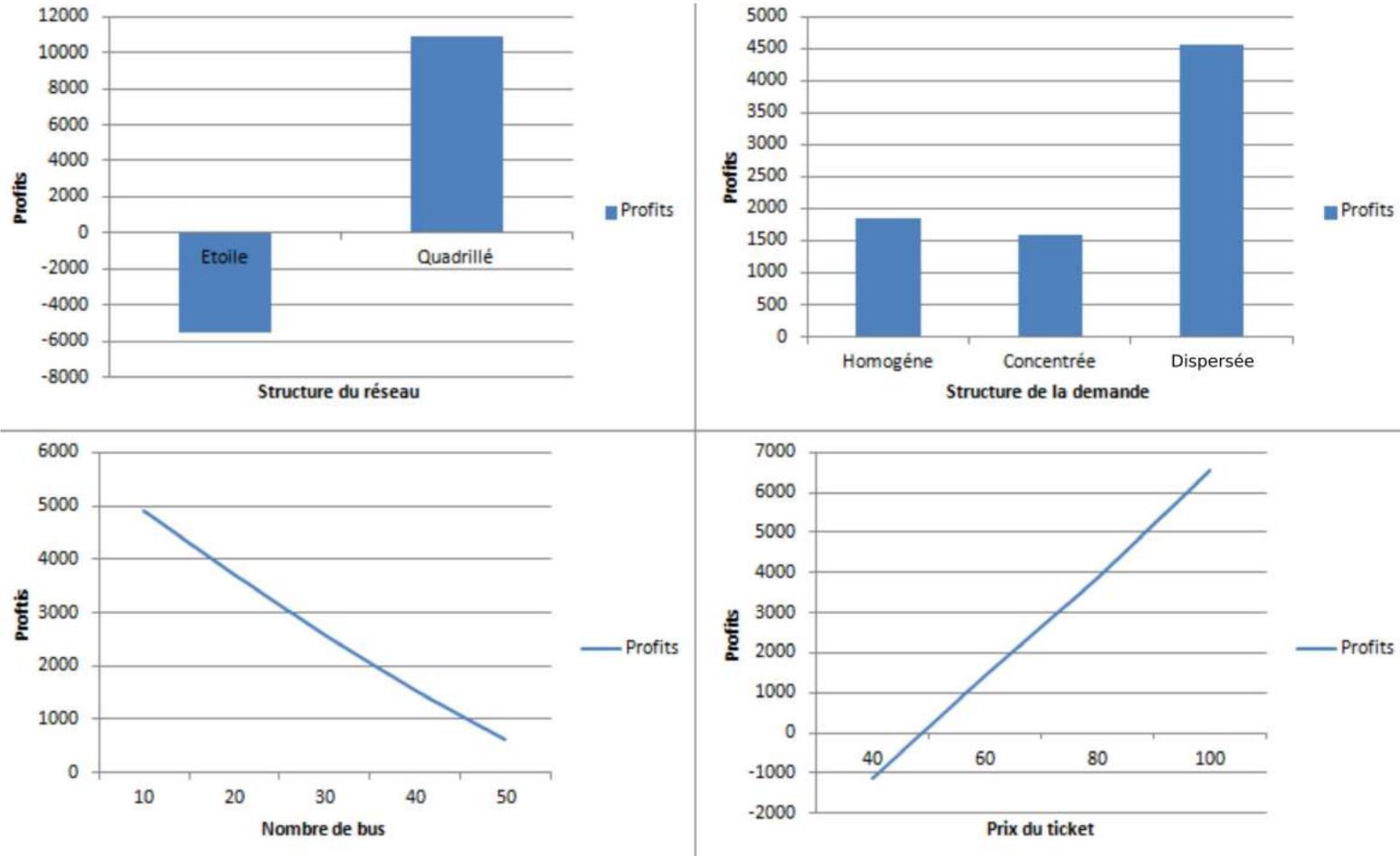


FIGURE 5.17 – Profits en fonction des variables de sortie (Gestion des fréquences)

Stratégie	Nombre d'usagers desservis le plus élevé	Desserte la plus homogène	Bénéfices moyens les plus élevés
Gestion des itinéraires	Réseau quadrillé Demande dispersée Nombre de bus moyen	Réseau quadrillé Demande dispersée Nombre de bus faible	Réseau en étoile Demande concentrée Nombre de bus élevé Prix du ticket élevé
Gestion des fréquences	Réseau en étoile Demande dispersée Nombre de bus élevé	Réseau en étoile Nombre de bus élevé	Réseau quadrillé Demande dispersée Nombre de bus faible Prix du ticket élevé

FIGURE 5.18 – Tableau de synthèse des résultats

déplacement et le remplissage est plus avantageux. La meilleure répartition des itinéraires limite également la concurrence : les bus ont tous les usagers présents à l'arrêt à leur disposition. Ils voyagent ainsi mieux remplis. Mais cette configuration n'est pas la plus efficace en termes d'usagers desservis parce qu'elle nécessite de nombreuses correspondances.

La demande dispersée permet d'avoir une majorité de trajets moyennement pleins. Tous les trajets sont donc rentables et cela augmente les bénéfices moyens. Pour une demande homogène ou concentrée, les trajets ne sont pas tous suffisamment fréquentés pour permettre un revenu moyen suffisant.

L'augmentation du nombre de bus ralentit la circulation. Ainsi, s'il y a plus d'usagers desservis, individuellement, les bus desservent moins d'usagers ce qui diminue les bénéfices moyens.

L'augmentation du prix du ticket augmente les bénéfices, évidemment.

Finalement, les paramètres les plus rentables pour la stratégie de gestion des fréquences sont un réseau quadrillé, une demande dispersée et un faible nombre de bus. Ces caractéristiques sont différentes de celles qui permettent un fort rendement et une desserte homogène.

5.4 Synthèse des configurations

Ces résultats permettent d'observer l'adaptation des deux types de transports artisanaux à des contextes urbains théoriques. Le tableau en Figure 5.18 synthétise les meilleures configurations pour chacun. Plusieurs éléments de conclusion peuvent être tirés de cette vue d'ensemble.

Ce que révèle le cas à part des bénéfiques

Tout d'abord, pour les deux stratégies étudiées, les paramètres d'entrée qui favorisent les bénéfiques sont différents de ceux qui favorisent les autres types d'efficacité. Au contraire, les contextes avantageux pour le nombre d'usagers desservis se rapprochent de ceux qui créent une desserte spatialement homogène. Ainsi, desserte homogène et nombre d'usagers desservis élevés semblent globalement reliés.

Cette opposition entre situations génératrices de bénéfiques et situations de desserte avec un rendement élevé et étendue souligne le fait qu'en réalité les systèmes arbitrent constamment entre ces trois types d'efficacité. Ainsi, le fait de chercher l'augmentation des bénéfiques se fait ici au détriment de la dimension spatiale et sociale du service de transport. Cet équilibre tripolaire permet aux transports artisanaux de fonctionner et de répondre aux besoins de mobilité quotidienne dans plusieurs villes du monde. Il transcende le type de système. Qu'il soit basé sur une stratégie de gestion des itinéraires ou des fréquences, qu'il s'adapte à un contexte urbain polarisé, dispersé, concurrentiel, saturé ... La conciliation de ces trois types d'efficacité est un enjeu que nous observons au niveau global. Dans le même temps, les ressorts de choix qui permettent de construire l'arbitrage entre ces trois pôles sont très individuels. Ces caractéristiques émergent à partir des stratégies des équipages de véhicules. Finalement, cet arbitrage entre différentes échelles de valeurs se joue au niveau individuel et se retrouve au niveau global. La relation entre ces différents niveaux est complexe. Les caractéristiques émergentes rétroagissent à travers les interactions entre les différents agents.

Adaptation, stratégies, environnement

Les deux stratégies que nous étudions s'opposent pour chacun des trois types d'efficacité. Mis à part la demande qui doit être la plupart du temps dispersée pour favoriser nos systèmes de transport, les autres paramètres différents que ce soit pour le rendement, la couverture spatiale ou les bénéfiques. La gestion des itinéraires est plus performante en termes d'usagers desservis et d'homogénéité de la desserte dans un environnement plutôt uniforme avec un réseau quadrillé. La gestion des fréquences s'adapte mieux à un réseau en étoile. Pour ces deux types d'efficacité, la stratégie de gestion des itinéraires est plus adaptée à un nombre de bus faible alors que la stratégie de gestion des fréquences est plus adaptée à un nombre de bus élevé. En effet, cela confirme notre hypothèse du chapitre précédent. Quel que soit le contexte, la gestion des itinéraires permet d'étendre la desserte, mais ne résiste pas à une saturation du réseau. La gestion des fréquences n'est efficace qu'avec un nombre de bus suffisant pour desservir tous les itinéraires. Cette stratégie permet de créer des écarts suffisants entre les bus

quand ils deviennent plus nombreux. Les embouteillages sont ainsi évités.

Cette série de simulation nous a permis d'identifier les variables structurantes qui ont un impact sur les structures émergentes de nos systèmes. Chacune de nos stratégies s'adapte mieux à un contexte urbain aux caractéristiques particulières. Cela nous permet de formuler l'hypothèse de l'existence d'un environnement de prédilection pour chaque type de transport artisanal. Finalement, le caractère auto-organisé de ce phénomène lui permet d'être particulièrement adapté à son environnement. Les transports artisanaux développent une forme d'auto-organisation qui correspond au contexte urbain dans lequel ils se trouvent.

Afin de bien comprendre quel transport artisanal est une solution performante pour quelle ville, nous souhaitons mesurer quel est l'effet de chacune des caractéristiques urbaines sur les structures de la desserte. Pour l'instant, nous avons identifié de grandes tendances, pour approfondir la précision de nos analyses nous voulons quantifier et hiérarchiser l'impact de chacune des variables de l'environnement sur la desserte. Thématiquement, cela revient à poser la question des éléments du contexte urbain qui sont les plus favorables à l'une ou l'autre des stratégies. Aussi, nous pouvons nous interroger sur les environnements de prédilection de chacune de nos stratégies en hiérarchisant leurs caractéristiques. Une ville plutôt polycentrique semblerait mieux desservie par des transports artisanaux en gestion des fréquences. Mais la forme du réseau est-elle aussi importante que celle de la demande ? Un nombre de bus trop important ou insuffisant compenserait-il une structure urbaine où une autre stratégie est plus adaptée ?

Chapitre 6

Vers des contextes de prédilection : Influence des contextes urbains sur les structures et les dynamiques des transports artisanaux

Les modèles précédents ont montré que l'auto-organisation des transports artisanaux permet de construire une desserte efficace selon plusieurs angles d'analyse. Chaque type de stratégie développé est apparu dans un contexte urbain particulier. La stratégie de gestion des fréquences a été observée à Lima notamment, et la stratégie de gestion des itinéraires à Brazzaville. Cependant, ces deux stratégies sont aussi présentes dans d'autres contextes (voir Chapitre 2, Partie 2.3). Leurs caractéristiques de fonctionnement les rendent plus ou moins adaptées à certains contextes urbains. Ainsi nous avons montré que la gestion des itinéraires est plus pertinente que la gestion des fréquences selon le contexte, et inversement.

Ce chapitre a pour objectif de mesurer quels sont les effets des caractéristiques des contextes urbains sur la desserte en transports artisanaux. Nous commencerons par souligner les différences entre les deux stratégies sur les trois types d'efficacités que nous avons définis (rendement, homogénéité spatiale et rentabilité). Puis nous analyserons, pour chacune des stratégies, quelles sont les variables les plus influentes sur chaque type d'efficacité. Dans un troisième temps, nous mettrons en perspective ces résultats avec des leviers d'actions envisageables afin d'approfondir la réflexion autour des potentialités du transport artisanal.

6.1 Hiérarchisation des variables, analyse des effets : quelles sont les variables les plus structurantes dans nos modèles ?

Cette sous-partie présente la hiérarchisation des variables en fonction de leur impact sur le rendement et les structures spatiales et économiques du transport artisanal. L'objectif est d'identifier les variables structurantes et de quantifier leurs effets. L'analyse des données issues des simulations présentées dans les chapitres précédents permet de mesurer l'influence de chacune des variables d'entrée (réseau, demande, stratégie des équipages, rapports économiques) sur chacune des structures (spatiales, économiques ou de productivité) du système. Dans un premier temps, nous allons expliciter notre méthode d'analyse statistique. Nous allons ensuite confirmer la différence entre les deux stratégies utilisées dans nos modèles. Une fois cette différenciation bien identifiée, nous mettrons en lien les différentes efficacités de ces deux stratégies avec les caractéristiques des contextes urbains. Les variables d'entrée de nos modèles multi-agents deviennent les facteurs explicatifs de l'efficacité de chaque système.

6.1.1 Le choix de la méthode de traitement : ANCOVA

Nous souhaitons quantifier la part de chacune des variables de sortie qui est expliquée par les variations de nos variables d'entrée. Autrement dit, nous cherchons à savoir dans quelle mesure le rendement du système est expliqué par la stratégie utilisée, par la forme du réseau, par la forme de la demande, par le prix du ticket et/ou par le nombre de bus. Nous pourrions ainsi définir quelles sont les variables d'entrée les plus importantes pour influencer sur le rendement, la répartition spatiale ou la rentabilité du système.

Nous devons donc définir le lien entre une variable quantitative (rendement, indice de concentration spatiale ou rentabilité) et des variables qualitatives (formes de réseau et de demande, stratégies, profil d'offre, prix du ticket). Pour cela, nous proposons une analyse de covariance (ANCOVA) qui est utilisée pour chercher s'il existe une relation entre plusieurs caractères qualitatifs et un caractère quantitatifs [Chadule, 1994].

L'Ancova consiste à mesurer la part de la distribution d'une variable continue qui est expliquée par un ou plusieurs facteurs. Autrement dit, il s'agit de définir quelle part de la variance est influencée par chacun des facteurs. L'analyse consiste à tester les différences de variation inter et intra facteurs [Dumolard et al., 2003].

Les analyses suivantes portent sur les données tirées des simulations présentées dans le chapitre 5 (Chapitre 5, Paragraphe 5.2.3). Nous avons donc 24 000 individus. Nous avons structuré la présentation de ces résultats en fonction du type d'efficacité étudié. Nous commencerons par analyser les variables influentes pour le rendement puis nous nous intéresserons aux structures spatiales et enfin à la rentabilité du système. Pour chaque type d'efficacité, nous vérifions dans un premier temps la différence de résultat entre la stratégie de gestion des fréquences et la stratégie de gestion des itinéraires puis nous les étudions séparément.

6.1.2 Variables structurantes pour le rendement

Différenciation des stratégies ?

Nous analysons la variance de la variable "Nombre d'usagers desservis" qui permet de mesurer le rendement du système. Dans un premier temps, nous avons intégré 5 variables explicatives : la stratégie, la demande, le nombre de bus, le réseau et le prix du ticket.

L'analyse de variance a un R^2 de 0,45. Ainsi, 45% des variations de notre variable sont expliqués par les 5 variables sélectionnées. De plus, la p-value du modèle est inférieure à 0,0001. Malgré un R^2 modéré, cette ANCOVA est significative.

Le tableau de significativité (Figure 6.1) permet de mesurer l'influence de chacun des facteurs dans l'évolution de la variable expliquée. La variable "prix du ticket" n'est pas significative, elle a donc été retirée des analyses suivantes. Le réseau, la demande, la stratégie et le nombre de bus ont des p-value inférieures à 0,0001, donc elles sont significatives dans l'explication du rendement. Cette première ANCOVA nous permet de confirmer la différence entre les deux types de stratégie que nous allons étudier séparément.

Source	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Stratégie	1	309 342 310	309 342 310	361	< 0,0001
Prix du ticket	3	717 506	239 169	0	0,840
Demande	2	2 506 906 427	1 253 453 213	1463	< 0,0001
Réseau	1	8 759 182	8 759 182	10	0,001
Nombre de bus	4	96 578 363	24 144 591	28	< 0,0001

FIGURE 6.1 – Significativité de l'ANCOVA pour la variable expliquée "nombre d'usagers desservis" (rendement)

À la suite de cette analyse de variance, nous avons effectué des tests post-hoc de Duncan¹ [Duncan and Brant, 1983] afin d'affiner la comparaison intra-groupe. Les tableaux de compa-

1. Le test de Duncan est une méthode de comparaison par paire des sorties d'une analyse de variance. Il permet de déterminer si un groupe est significativement différent d'un autre [Day and P. B. Quinn, 1989].

CHAPITRE 6. VERS DES CONTEXTES DE PRÉDILECTION

Stratégies

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
fréquences	1549	22	1505	1593	A
itinéraires	2105	19	2068	2142	B

Demande

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
concentrée	1280	25	1231	1329	A
homogène	1282	25	1233	1331	A
dispersée	2920	25	2871	2969	B

Réseau

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
Etoile	1780	22	1737	1824	A
Quadrille	1874	19	1837	1911	B

Nombre de bus

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
10	1541	32	1478	1604	A
20	1806	32	1743	1869	B
30	1911	32	1848	1973	C
40	1925	32	1862	1988	C
50	1953	32	1890	2016	C

Prix du ticket

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
80	1 811,49	28,74	1 755,15	1 867,84	A
100	1 817,87	28,74	1 761,52	1 874,21	A
60	1 835,19	28,74	1 778,84	1 891,53	A
40	1 844,10	28,74	1 787,75	1 900,44	A

FIGURE 6.2 – Comparaison des paramètres de l'ANCOVA pour la variable expliquée "nombre d'utilisateurs desservis" (rendement)

raisons (figure 6.2) montrent que les stratégies ont une influence différente sur le rendement, tout comme les formes de réseau. En ce qui concerne la demande, les répartitions concentrées et homogènes ne se différencient pas significativement alors que le profil de demande dispersée a un effet propre. Les profils d'offre avec 10 ou 20 agents-bus ont des influences propres alors qu'au-delà de 30 bus les effets se confondent.

Une telle approche globale permet d'étudier le transport auto-organisé de manière générale. L'information la plus importante que nous tirons de cette analyse est la différence entre les deux stratégies étudiées pour ce qui concerne le rendement. Maintenant, nous souhaitons préciser quels paramètres du contexte urbain sont plus favorables pour chacune des deux stratégies. Cela nous permettra de définir quel est le contexte urbain de prédilection des deux modes de fonctionnement identifiés pour le transport artisanal.

Stratégie de gestion des itinéraires

Pour le modèle It-AO, l'analyse de variance du rendement prend en compte le réseau, la demande, le nombre de bus et le prix du ticket. Le modèle élaboré a un R^2 de 0,51. Ainsi 51% de la variance du rendement est expliquée par les facteurs sélectionnés. Il reste cependant significatif avec une p-value globale inférieure à 0,0001.

Le tableau en figure 6.3 comporte les résultats des F-tests et la significativité de chacun des facteurs. Les prix du ticket et nombre de bus ne sont pas significatifs quant au rendement. Seules la forme de la demande et celle du réseau jouent un rôle dans la variance du nombre d'usagers desservis.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Prix du ticket	3	272 557,99	90 852,66	0,09	0,967
Demande	2	2 327 398 852,68	1 163 699 426,34	1 120,50	< 0,0001
Réseau	1	251 946 936,02	251 946 936,02	242,59	< 0,0001
Nombre de bus	4	6 369 961,08	1 592 490,27	1,53	0,190

FIGURE 6.3 – ANCOVA pour la variable expliquée "nombre d'usagers desservis" (rendement) dans le cas du modèle IT-AO

Les tests post-hoc de Duncan (figure 6.4) montrent que les variances intra-groupes sont effectivement différentes selon la forme du réseau. Le réseau quadrillé permet un meilleur rendement que le réseau en étoile, cela confirme les conclusions du chapitre précédent. D'autre part, les demandes "homogène" et "concentrée" sont moins favorables que la demande "dispersée".

Ainsi, la stratégie de gestion des itinéraires est influencée par la demande, la forme du réseau, le nombre de bus et le prix du ticket. Pour ce qui est du rendement, le contexte de prédilection de cette stratégie est donc une demande dispersée et un réseau quadrillé.

Stratégie de gestion des fréquences

Pour le modèle Freq-AO, l'ANCOVA est significative avec un R^2 de 0,75. 75% de la variance est donc expliquée par les facteurs sélectionnés. Le modèle est significatif avec p

Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Prix du ticket (Duncan) :			Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Nombre de bus (Duncan) :		
Modalité	Desservis	Groupes	Modalité	Desservis	Groupes
80	2093	A	10	2054	A
100	2098	A	50	2055	A
60	2110	A	40	2084	A
40	2120	A	30	2156	A
			20	2177	A

Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Demande (Duncan) :			Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Réseau (Duncan) :		
Modalité	Desservis	Groupes	Modalité	Desservis	Groupes
Homogène	1399	A	Etoile	1781	A
Concentrée	1419	A	Quadrillé	2429	B
Dispersée	3498	B			

FIGURE 6.4 – Comparaison intra-groupes de l'ANCOVA pour la variable expliquée "nombre d'usagers desservis" (rendement) dans le cas du modèle IT-AO

inférieur à 0,0001. Le tableau en figure 6.5 montre la significativité de toutes les variables, excepté le prix du ticket.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Prix du ticket	3	442 762,45	147 587,48	0,93	0,426
Demande	2	319 052 315,10	159 526 157,55	1 003,93	< 0,0001
Réseau	1	132 617 104,40	132 617 104,40	834,59	< 0,0001
Nombre de bus	4	184 768 079,69	46 192 019,92	290,70	< 0,0001

FIGURE 6.5 – ANCOVA pour la variable expliquée "nombre d’usagers desservis" (rendement) dans le cas du modèle Freq-AO

Le test de Duncan (Figure 6.6) montre que la demande dispersée est la plus favorable au rendement de la stratégie étudiée. La stratégie de gestion des fréquences a un meilleur rendement dans un réseau en étoile. L’influence très dispersée de chacune des modalités du facteur "nombre de bus" est notable. Chaque palier d’augmentation voit le rendement estimé augmenter et la meilleure configuration est celle de 50 bus conformément à nos observations des chapitres précédents.

Finalement, la stratégie de gestion des fréquences est influencée par la forme de la demande, la forme du réseau et le nombre de bus. Ce modèle a un rendement plus efficace dans le cas d’une demande dispersée et d’un réseau en étoile avec un grand nombre de bus.

Ainsi pour ce qui concerne le rendement des transports artisanaux modélisés, la stratégie de gestion des fréquences et la stratégie de gestion des itinéraires ont des contextes urbains de prédilection différents. Cette dernière a un meilleur rendement dans un réseau quadrillé avec une demande dispersée. La stratégie de gestion des fréquences a un meilleur rendement avec

Synthèse des comparaisons multiples par paires pour prix_ticket (Duncan) :

Modalité	Desservis	Groupes
80	1446,867	A
100	1458,282	A
60	1483,952	A
40	1485,702	A

Synthèse des comparaisons multiples par paires pour num_bus (Duncan) :

Modalité	Desservis	Groupes			
10	882,937	A			
20	1316,487		B		
30	1587,769			C	
40	1726,131				D
50	1830,177				E

Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Demande (Duncan) :

Modalité	Desservis	Groupes	
Concentrée	1135,330	A	
Homogène	1170,886	A	
Dispersée	2099,885		B

Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Network (Duncan) :

Modalité	Desservis	Groupes	
Quadrillé	1180,802	A	
Etoile	1756,599		B

FIGURE 6.6 – Comparaison intra-groupes de l’ANCOVA pour la variable expliquée "nombre d’usagers desservis" (rendement) dans le cas du modèle Freq-AO

dans un réseau en étoile avec une demande dispersée et un nombre de bus important. Il y a donc une stratégie d'organisation du service de transport collectif artisanal mieux adaptée à chacune de ces configurations urbaines.

6.1.3 Variables structurantes pour la répartition spatiale de la desserte

Différenciation des stratégies ?

La répartition spatiale de la desserte est analysée à partir d'un indice de concentration de la desserte, comme dans les chapitres précédents². Celui-ci nous donne les écarts relatifs de fréquentation entre les arrêts. Ainsi plus l'indice est élevé plus la desserte est concentrée. En premier lieu, nous avons intégré 5 variables explicatives à notre analyse afin de confirmer la différenciation entre les deux stratégies. Le modèle produit a un R^2 de 0,075. La p-value est inférieure à 0,0001. Ce modèle est donc significatif, mais il explique peu les variations de la répartition de la desserte (Figure 6.7).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Stratégie	1	643	643	0	1
Prix du ticket	3	121	40	0	1
Demande	2	151 073	75 537	51	< 0,0001
Réseau	1	210 421	210 421	143	< 0,0001
Nombre de bus	4	134 430	33 607	23	< 0,0001

FIGURE 6.7 – Significativité de l'ANCOVA pour la variable expliquée "indice de concentration"

Les tests post-hoc de Duncan (Figure 6.8) montrent que la demande concentrée favorise la concentration de la desserte, tout comme le réseau en étoile et un nombre important de bus. Cette situation se retrouve, quelle que soit la stratégie ou le prix du ticket. Ces résultats sont cohérents malgré une faible puissance explicative du modèle.

Afin d'affiner notre analyse, nous séparons donc les modèles It-AO et Freq-AO.

Stratégie de gestion des itinéraires

L'analyse de variance des résultats de It-AO concernant la concentration de la desserte est significative (p-value < 0,0001) et son pouvoir explicatif est de 36% de la variance ($R^2 = 0,36$). Les variables explicatives sont toutes significatives sauf le prix du ticket (Figure 6.9).

2. L'indice est détaillé au Chapitre 4, Partie 4.4.1.

CHAPITRE 6. VERS DES CONTEXTES DE PRÉDILECTION

Stratégies

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
itineraires	73,63	0,78	72,09	75,17	A
fréquences	74,43	0,93	72,61	76,25	A

Demande

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
Dispersée	67,17	1,03	65,14	69,20	A
Homogène	73,14	1,03	71,11	75,17	B
Concentrée	81,78	1,03	79,75	83,81	C

Réseau

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
Quadrille	66,78	0,78	65,24	68,31	A
Etoile	81,28	0,93	79,46	83,10	B

Nombre de bus

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
40	69,81	1,33	67,20	72,42	A
50	70,42	1,33	67,81	73,03	A B
30	70,80	1,33	68,19	73,41	A B
20	74,20	1,33	71,59	76,81	B
10	84,52	1,33	82,31	87,54	C

Prix du ticket

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
100	73,80	1,19	71,46	76,14	A
60	73,97	1,19	71,63	76,31	A
40	74,08	1,19	71,74	76,41	A
80	74,27	1,19	71,93	76,61	A

FIGURE 6.8 – Comparaison des paramètres de l'ANCOVA pour la variable expliquée "indice de concentration"

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Prix du ticket	3	164,36	54,79	0,04	0,990
Demande	2	284 191,81	142 095,91	99,63	< 0,0001
Réseau	1	1 575 531,25	1 575 531,25	1 104,68	< 0,0001
Nombre de bus	4	27 777,58	6 944,40	4,87	0,001

FIGURE 6.9 – ANCOVA pour la variable expliquée "concentration" dans le cas du modèle IT-AO

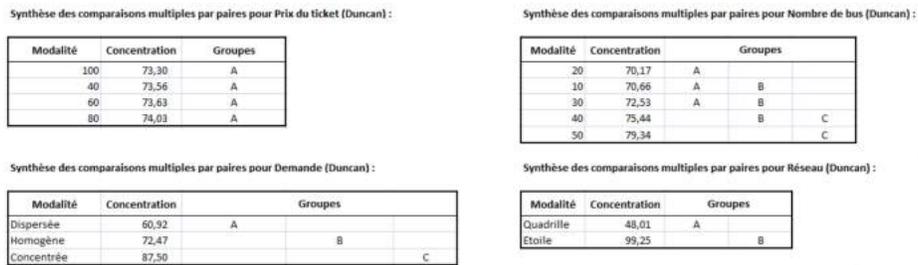


FIGURE 6.10 – Comparaison intra-groupes de l’ANCOVA pour la variable expliquée "concentration" dans le cas du modèle It-AO

Une demande concentrée, un réseau en étoile et un grand nombre de bus favorisent la concentration de la desserte (Figure 6.10). Ainsi, la desserte est plus homogène en cas de demande dispersée, de réseau quadrillé et de nombre de bus faible pour ce modèle basé sur une stratégie de gestion des itinéraires.

Ces résultats ne sont pas différents de la première analyse, cela pourrait indiquer que les deux stratégies ne sont pas tant différentes sur le plan des structures spatiales. Voyons si cette hypothèse se confirme en examinant le modèle Freq-AO qui est basé sur la stratégie de gestion des fréquences.

Stratégie de gestion des fréquences

L’ANCOVA pour la structuration de la desserte du modèle Freq-AO a un R^2 de 0,53. Ce modèle significatif (p-value < 0,0001) explique donc 53% de la variance totale. Seuls la forme du réseau et le nombre de bus sont significatifs (Figure 6.11). Ces résultats diffèrent assez peu de l’analyse générale qui supposait une similitude avec le modèle It-AO. Pourtant, l’influence nulle de la demande est notable pour ce modèle-ci ; alors que pour It-AO elle joue un rôle. Il existe donc une différence entre les deux stratégies étudiées : pour la structure spatiale de la desserte, la stratégie de gestion des itinéraires est influencée par la demande alors que la stratégie de gestion des fréquences ne l’est pas.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Prix du ticket	3	3,45	1,15	0,00	1,00
Demande	2	290,33	145,17	0,39	0,67
Réseau	1	237 902,39	237 902,39	645,88	< 0,0001
Nombre de bus	4	385 429,62	96 357,40	261,60	< 0,0001

FIGURE 6.11 – ANCOVA pour la variable expliquée "concentration" dans le cas du modèle Freq-AO

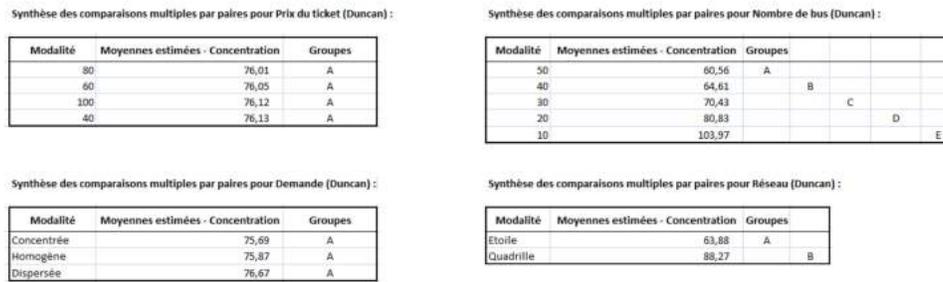


FIGURE 6.12 – Comparaison intra-groupes de l’ANCOVA pour la variable expliquée "concentration" dans le cas du modèle Freq-AO

Les tests de Duncan (Figure 6.12) montrent que le réseau quadrillé et un faible nombre de bus créent une desserte plus concentrée. Le modèle de la gestion des fréquences (Freq-AO) réagit à l’opposé du modèle de gestion des itinéraires (It-AO). Autrement dit, les deux modèles sont influencés par les mêmes variables (exceptée la demande) mais ils ne sont pas influencés de la même façon. Dans un cas, le contexte va créer de la concentration alors que dans l’autre il va créer de l’homogénéité. La stratégie de gestion des fréquences et la stratégie de gestion des itinéraires ont donc encore une fois des contextes urbains de prédilection différents pour ce qui concerne la répartition spatiale de la desserte. Ces deux types de transport artisanal s’adaptent mieux à des contextes urbains différents.

6.1.4 Variables structurantes pour la rentabilité du système

Différenciation des stratégies ?

La rentabilité du système est analysée en fonction du revenu moyen des agents-bus. Étant donné que nous travaillons avec des modèles dont l’effectif de véhicules varie, nous ne pouvons pas prendre en compte les revenus totaux. L’utilisation de la moyenne permet également de gommer les différences entre les véhicules. En effet, il s’agit pour nous d’observer les structures au niveau macro. La première analyse de variance avec 5 variables explicatives produit un R^2 à 0,59 pour un modèle significatif (p -value < 0,0001). Toutes les variables sont significatives (Figure 6.13). Il y a donc une véritable différence entre les deux stratégies.

La comparaison des variances intra-classes (Figure 6.14) définit les modalités des variables qui font augmenter les bénéfices moyens des bus. La stratégie de gestion des fréquences, un prix du ticket élevé, une demande dispersée, un réseau quadrillé et un faible nombre de bus permettent au système d’être plus rentable.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Stratégie	1	54 258 105 153	54 258 105 153	1 442	< 0,0001
Prix du ticket	3	26 344 615 584	8 781 538 528	233	< 0,0001
Demande	2	1 061 904 639	530 952 320	14	< 0,0001
Network	1	109 578 709 124	109 578 709 124	2 912	< 0,0001
num_bus	4	1 261 849 219	315 462 305	8	< 0,0001

FIGURE 6.13 – Significativité de l'ANCOVA pour la variable expliquée "bénéfices"

Stratégies

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
Itinéraires	- 4 259,61	125,21	- 4 505,08	- 4 014,13	A
fréquences	3 106,40	148,15	2 815,95	3 396,86	B

Demande

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
Homogène	- 1 007,23	165,30	- 1 331,30	- 683,16	A
Concentrée	- 851,36	165,30	- 1 175,43	- 527,29	A
Dispersée	128,79	165,30	- 195,29	452,86	B

Réseau

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
Etoile	- 5 810,59	148,15	- 6 101,05	- 5 520,14	A
Quadrille	4 657,39	125,21	4 411,91	4 902,87	B

Nombre de bus

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
50	- 1 073,08	212,70	- 1 490,08	- 656,08	A
40	- 891,37	212,70	- 1 308,37	- 474,37	A
30	- 789,12	212,70	- 1 206,12	- 372,12	A
20	- 606,66	212,70	- 1 023,66	- 189,66	A
10	477,23	212,70	60,23	894,23	B

Prix du ticket

Modalité	Moyennes estimées	Erreur standard	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Groupes
40	- 3 946,62	190,48	- 4 320,06	- 3 573,18	A
60	- 1 662,89	190,48	- 2 036,33	- 1 289,45	B
80	506,20	190,48	132,76	879,64	C
100	2 796,91	190,48	2 423,47	3 170,35	D

FIGURE 6.14 – Comparaison des paramètres de l'ANCOVA pour la variable expliquée "bénéfices"

Les deux modèles It-AO et Freq-AO sont donc bien différents pour la rentabilité. Voyons dans quelle mesure les variables explicatives sont différentes.

Stratégie de gestion des itinéraires

L'analyse de la variance des bénéfices moyens explique 27% des variations avec les 4 variables explicatives suivantes : réseau, demande, nombre de bus et prix du ticket. Ce modèle est significatif (p -value < 0,0001). Tous les facteurs sont significatifs (Figure 6.15).

Les tests post hoc permettent de constater que les modalités des variables explicatives ont des influences différenciées. Ainsi (Figure 6.16), le modèle le plus rentable se déploie dans un contexte de réseau quadrillé et de prix du ticket élevé avec dans une moindre mesure une demande concentrée et un grand nombre de bus. En ce qui concerne la rentabilité, la stratégie

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Prix du ticket	3	10 894 067 637	3 631 355 879	105	< 0,0001
Demande	2	542 172 399	271 086 199	8	0,000
Réseau	1	17 508 293 148	17 508 293 148	508	< 0,0001
Nombre de bus	4	1 323 483 773	330 870 943	10	< 0,0001

FIGURE 6.15 – ANCOVA pour la variable expliquée "bénéfices" dans le cas du modèle It-AO

Modalité	Bénéfices	Groupes			
40	- 7 144,68	A			
60	- 5 178,94		B		
80	- 3 293,12			C	
100	- 1 421,68				D

Modalité	Bénéfices	Groupes			
20	-5 276,51	A			
30	-4 668,11	A			
30	-4 495,60	A			
40	-3 674,32		B		
50	-3 183,49			B	

Modalité	Bénéfices	Groupes			
dispersée	- 4 863,31	A			
homogène	- 4 213,71		B		
concentrée	- 3 701,80			B	

Modalité	Bénéfices	Groupes			
Etoile	-6 960,55	A			
Quadrille	-1 558,66		B		

FIGURE 6.16 – Comparaison intra-groupes de l’ANCOVA pour la variable expliquée "bénéfices" dans le cas du modèle It-AO

de gestion des itinéraires est donc mieux adaptée à un contexte urbain au réseau quadrillé avec un prix du ticket élevé, une demande concentrée et un grand nombre de bus.

Stratégie de gestion des fréquences

Dans le cas du modèle Freq-AO, l’ANCOVA est significative et le R^2 est de 0,23. Tous les facteurs sont influents (Figure 6.17).

L’analyse intra-classes montre qu’un réseau quadrillé et un prix du ticket élevé permettent une rentabilité plus importante du modèle (Figure 6.18). De même, une demande dispersée et un faible nombre de bus favorisent ce paramètre.

La stratégie de gestion des fréquences est plus rentable dans un contexte de réseau quadrillé et de prix du ticket élevé avec une demande dispersée et un faible nombre de bus. Le contexte urbain ainsi défini est en partie différent de celui qui permet à la stratégie de gestion des itinéraires d’être plus rentable. En effet, cette dernière s’adapte mieux à un contexte où la demande est concentrée et le nombre de bus important.

6.2 Ce que nous apporte la comparaison

L’analyse de l’influence de chacun des paramètres montre que les stratégies des transporteurs ont un effet sur les structures et les dynamiques des transports artisanaux à échelle macro.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Prix du ticket	3	13 553 501 121	4 517 833 707	56	< 0,0001
Demande	2	3 975 307 958	1 987 653 979	25	< 0,0001
Réseau	1	9 603 239 808	9 603 239 808	118	< 0,0001
Nombre de bus	4	4 900 408 632	1 225 102 158	15	< 0,0001

FIGURE 6.17 – ANCOVA pour la variable expliquée "bénéfices" dans le cas du modèle FQ-AO

Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Prix du Ticket (Duncan) :			Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Nombre de bus (Duncan) :				
Modalité	Desservis	Groupes	Modalité	Desservis	Groupes		
80	1 447	A	10	883	A		
100	1 458	A	20	1 316		B	
60	1 484	A	30	1 588			C
40	1 486	A	40	1 726			D
			50	1 830			E

Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Demande (Duncan) :			Synthèse des comparaisons multiples par paires pour Réseau (Duncan) :		
Modalité	Desservis	Groupes	Modalité	Desservis	Groupes
Concentrée	1 135	A	Quadrille	1 181	A
Homogène	1 171	A	Etoile	1 757	B
Dispersée	2 100	B			

FIGURE 6.18 – Comparaison intra-groupes de l'ANCOVA pour la variable expliquée "bénéfices" dans le cas du modèle FQ-AO

Selon le type d'efficacité recherché, les paramètres influents diffèrent. Ils se répartissent en fonction de la stratégie de transports auto-organisés et du type d'efficacité observé. La figure 6.19 représente de manière synthétique les résultats obtenus.

En termes de variable significative, les deux stratégies se différencient assez peu. Autrement dit, pour influencer les structures et les dynamiques des transports artisanaux, ce sont la forme du réseau et de la demande qui sont les paramètres à prendre en compte en priorité. En effet, ces deux éléments influencent particulièrement les transports artisanaux, quelle que soit la stratégie ou le type d'efficacité.

Il existe cependant certaines différences entre les variables influentes des deux stratégies. Pour le rendement, la stratégie de gestion des itinéraires a une variable influente propre qui est le nombre de bus. D'autre part, les valeurs de chacune de ces variables qui ont une influence positive sont différentes selon la stratégie. La stratégie de gestion des fréquences et la stratégie de gestion des itinéraires ont donc des contextes urbains de prédilection différents.

6.2.1 Des contextes de prédilection

Particularités des deux types de transport artisanal

Le tableau en Figure 6.19 permet de synthétiser les différentes modalités qui favorisent le rendement, l'homogénéité de la desserte et la rentabilité. Dans un premier temps, il est

important de souligner que l'analyse de variance confirme une nouvelle fois l'hypothèse d'une différence entre la stratégie de gestion des itinéraires et la stratégie de gestion des fréquences. En effet, les modalités des variables étudiées qui favorisent chaque type d'efficacité ne sont pas les mêmes entre les deux stratégies.

Finalement, cette synthèse des résultats des simulations nous permet d'analyser les dynamiques des transports artisanaux dans des contextes urbains divers. L'association des différents paramètres construit un contexte urbain qui favorise l'aspect économique, productif ou spatial pour chaque stratégie. Par exemple, un système basé sur une stratégie de gestion des itinéraires a un rendement plus élevé dans un réseau quadrillé avec une demande dispersée. A l'inverse la rentabilité d'un tel système est meilleure dans un contexte de réseau quadrillé avec une demande concentrée et un grand nombre de bus. Ainsi pour favoriser chacun des types d'efficacité, il faut mettre en place le contexte de prédilection de la stratégie en vigueur (Voir tableau en Figure 6.19).

De manière générale, les contextes urbains qui favorisent la rentabilité du système diffèrent de ceux qui favorisent une desserte homogène et à haut rendement. Ce phénomène est présent pour la stratégie de gestion des fréquences comme pour la stratégie de gestion des itinéraires. Ainsi pour réellement définir le contexte urbain le plus propice au développement d'une stratégie, nous devons d'abord choisir le type d'efficacité dont il est question. En réalité, l'enjeu réside dans l'identification d'un milieu permettant d'équilibrer les trois axes d'efficacité que nous avons identifiés.

Retour sur les cas de Lima et Brazzaville

La mise en perspective de ces résultats avec les cas de Lima et Brazzaville permet d'approfondir la question de l'équilibre entre les différents types d'efficacité. En effet, les contextes urbains de Lima et Brazzaville ne correspondent pas complètement aux profils qui sont définis dans le tableau de la Figure 6.19. Il s'agit plutôt d'un mélange nuancé qui permet au système d'avoir un rendement suffisant et une desserte assez homogène tout en étant rentable.

Dans le cas de Lima et de la stratégie de gestion des fréquences, le réseau est globalement en forme d'étoile. Le centre de l'agglomération est le nœud principal autour duquel les périphéries se répartissent en ayant chacune un nœud central et des nœuds secondaires. Cette caractéristique favorise le rendement et l'homogénéité spatiale de la desserte. Cependant, à une autre échelle, certaines parties de l'agglomération sont structurées par un réseau quadrillé. C'est notamment le cas du district de Lima et du centre historique qui sont issus de la ville coloniale. Cette caractéristique du réseau favorise la rentabilité de la stratégie de gestion

Gestion des itinéraires	Rendement	Homogénéité spatiale	Rentabilité
Réseau	Quadrillé	Quadrillé	Quadrillé
Demande	Dispersée	Dispersée	Concentrée
Nombre de bus	Non Significatif	Faible	Important
Prix du ticket	Non Significatif	Non Significatif	Elevé

Gestion des fréquences	Rendement	Homogénéité spatiale	Rentabilité
Réseau	Etoile	Etoile	Quadrillé
Demande	Dispersée	Non Significatif	Dispersée
Nombre de bus	Important	Important	Faible
Prix du ticket	Non Significatif	Non Significatif	Elevé

FIGURE 6.19 – Synthèse des contextes urbains

des fréquences. Ainsi la forme du réseau à Lima permet à ce type de transport artisanal de s'équilibrer entre rendement, homogénéité spatiale et rentabilité. Dans le cas de Brazzaville, le réseau est globalement de forme quadrillée puisque l'urbanisation a suivi la structure donnée par la ville coloniale. Cette caractéristique de réseau favorise tous les aspects de la stratégie de gestion des itinéraires.

Pour ce qui est de la forme de la demande, à Lima comme à Brazzaville, la demande est plutôt dispersée spatialement. Cela correspond à une répartition de demande réaliste : il y a beaucoup d'arrêts avec une demande moyenne et relativement peu d'extrêmes (demandes fortes ou faibles). Cette dispersion doit être cependant nuancée par l'attraction importante exercée par le centre de l'agglomération dans les deux cas. Cela permet de renforcer la rentabilité dans le cas de la stratégie de gestion des itinéraires à Brazzaville. Les répartitions réelles de demandes ne sont bien sûr pas autant catégorisées que celles que nous avons implémentées dans nos modèles théoriques. Cependant, elles ont des tendances suffisamment fortes vers la dispersion ou la concentration pour permettre l'équilibre des stratégies des transports artisanaux.

En ce qui concerne le nombre de bus, la situation observée à Lima entre clairement dans la catégorie du nombre de bus élevé. À l'inverse, la situation de Brazzaville correspond à un nombre de bus faible. Ces situations favorisent l'homogénéité spatiale et/ou le rendement. Cependant, elles ne favorisent pas la rentabilité du système. Pourtant, si ces artisans du transport continuent d'exercer leur métier, c'est qu'ils arrivent à survivre grâce à cette activité. La viabilité économique réelle de ces microentreprises est loin de la rentabilité très importante qui peut être atteinte avec nos modèles théoriques. En revanche, elle suffit à conserver un équilibre. La question du prix du ticket est liée à cette question du nombre de bus. Le rapport entre le prix du ticket et les différents paramètres des stratégies fait correspondre les tarifs pratiqués à Lima et à Brazzaville à la configuration de prix élevés. Cette question se pose pour le système par rapport à lui-même. Autrement dit, les prix sont dits élevés ici, mais il ne s'agit pas d'une référence au coût de la vie ou aux revenus moyens dans les villes étudiées. Ces catégories correspondent uniquement au nombre de kilomètres qui peuvent être parcourus par un bus grâce au paiement d'un ticket de bus par un usager. Le fait que les configurations économiques observées favorisent la rentabilité du système participe à l'équilibre du nombre de bus, qui ne favorise pas la rentabilité, mais les autres types d'efficacité.

Vers une généralisation de ces contextes urbains de prédilection

Comme nous l'avons précisé à la fin du Chapitre 2, ces deux types d'auto-organisation des transports collectifs ont été observés dans différentes villes. Ainsi la stratégie de gestion des itinéraires et la stratégie de gestion des fréquences ont par exemple été observées respectivement à Rio de Janeiro, Dakar, Accra et Jakarta, Nairobi et Addis Abeba.

D'après ce que nous avons pu tirer de nos recherches bibliographiques, les contextes urbains de ces exemples se rapprochent des contextes urbains identifiés avec nos modèles. Ainsi, la stratégie de gestion des itinéraires se retrouve majoritairement dans des villes où le nombre de bus est plutôt faible : Dakar [Lammoglia et al., 2012], Abidjan [Lombard, 2006], Lomé [Guézéré, 2013] ... Inversement, la stratégie de gestion des fréquences est observée dans des villes où l'offre de transport collectif est abondante comme à Djakarta [Desmoulière, 2016] ou Nairobi [Khayesi and Nafukho, 2016].

De la même manière, la stratégie de gestion des itinéraires est plus souvent représentée dans des villes où le réseau est quadrillé. Ainsi dans les villes de Brazzaville [Audard et al., 2012], Lomé [Guézéré, 2012] et Dakar [Lammoglia, 2013] sont parcourues par des transports artisanaux aux itinéraires flexibles.

La stratégie de gestion des fréquences a plus lieu dans des villes où le réseau est en forme d'étoile. Les taxis collectifs marocains, par exemple, sont présents dans plusieurs villes du pays. Ils circulent sur des itinéraires fixes entre centre et périphéries à Fès et à Casablanca [Tellier, 2010].

La question des équilibres économiques entre les frais de service (kilomètres, taxes ...) et les prix du ticket ne peut pas être étudiée à travers la littérature. Les données nécessaires sont trop peu souvent documentées. Nous n'avons donc pas les moyens pour l'instant d'étendre notre réflexion sur ce thème. Il en va de même à propos de la répartition spatiale de la demande.

Une plus ample généralisation nécessiterait la multiplication des études de cas. Cependant, les modèles théoriques que nous avons mis en place permettent de tirer un certain nombre de conclusions généralisables, notamment en ce qui concerne les variables structurantes des systèmes de transport artisanaux. La forme du réseau, de la demande, le nombre de bus et le prix du ticket jouent sur le rendement, la répartition spatiale de la desserte et l'efficacité économique du système. L'adaptabilité caractéristique du transport artisanal est donc démontrée et expliquée par les spécificités des stratégies étudiées.

6.3 Le transport artisanal : solution pour le transport collectif de demain ?

6.3.1 Quels leviers d'action pour l'amélioration des systèmes existants ?

Les transports artisanaux ont été de nombreuses fois intégrés dans des réflexions sur l'aménagement des transports collectifs. Plusieurs cas d'interdictions des transports artisanaux pour mettre en place une entreprise semi-publique de transport ont abouti à la fermeture de ces dernières pour revenir à la situation initiale : au Sénégal [Lammoglia et al., 2012], en Tanzanie [Plat and Pochet, 2002], en Côte d'Ivoire [Adoléhoumé and Bi Nagoné, 2002], au Kenya [Graeff, 2009] ...

L'expérience montre que l'aménagement sans prise en compte des transports artisanaux ne fonctionne pas [Godard, 2002]. Cependant, d'autres projets ont tenté de construire une intégration entre des systèmes artisanaux auto-organisés et des systèmes régulés publics ou privés. La complémentarité entre plusieurs modes d'organisation est un axe de réflexion fécond en aménagement [Salazar Ferro, 2015]. Ainsi les transports auto-organisés peuvent être couplés à des transports planifiés pour alimenter un *Bus Rapid Transit* [Salazar Ferro and Behrens, 2013].

De manière générale, le pragmatisme est de mise et la construction de systèmes de transports urbains ne peut s'affranchir d'une réelle prise en compte des situations locales et des potentialités du transport artisanal [Miras and Godard, 2006].

L'autonomie des équipages de véhicules est caractéristique du transport artisanal. Comme son nom l'indique bien, le secteur repose sur l'éclatement de la propriété et sur des microentreprises. Les travailleurs du transport artisanal sont donc des indépendants et non des salariés. Les stratégies qui sont développées pour l'adaptation permanente de l'offre à la demande ne sont possibles que dans un contexte de grande autonomie des équipages de véhicules qui sont laissés responsables du service.

Dans les cas étudiés, le modèle économique est très libéral. Il implique un certain nombre de limites liées à ce mode de fonctionnement et à la faiblesse de l'État dans les villes où le transport artisanal se développe. Ainsi la précarité et les situations sociales difficiles provoquées par l'absence de salariat et de règles de sécurité sont monnaie courante tout comme les disparités créées par la ville néo-libérale dont ce phénomène fait partie [Hackworth, 2006] [Pineda, 2014] [Rizzo, 2017].

Cependant, plusieurs solutions peuvent être proposées pour améliorer les systèmes de transport artisanaux sans diminuer l'autonomie des équipages et leur responsabilité dans l'opération du service.

Suite aux analyses de ce dernier chapitre, un travail sur l'adéquation entre le contexte urbain et le type de transport artisanal peut être envisagé. Les variables identifiées pour chacune des stratégies pourraient constituer des leviers d'action sur les systèmes en place. Sans dire qu'il s'agit de "boutons magiques" sur lesquels appuyer pour lancer une réorganisation du système, les caractéristiques des contextes urbains ont un effet sur les transports collectifs. Par exemple, la modification du réseau pour créer des centres comme dans un réseau en étoile favoriserait le rendement d'un système fonctionnant grâce à une stratégie de gestion des fréquences. Inversement, pour un système basé sur une stratégie de gestion des itinéraires il faudrait augmenter le nombre de liens transversaux entre les arrêts pour créer un réseau le plus maillé possible. Il s'agit ainsi de favoriser ces systèmes dans un sens ou dans un autre sans pour autant les déséquilibrer. Ainsi, des leviers d'action sont identifiables grâce aux variables de nos modèles. Le sens de leur effet est également clair. L'équilibre à maintenir est cependant difficile à garantir. Les relations entre les différents éléments ne permettent pas d'agir sur une variable sans faire évoluer les autres. Modifier le réseau sans avoir d'effet sur la demande semble impossible. Les interactions en jeu créent des dynamiques non linéaires à la prévisibilité limitée. Privilégier le rendement peut entraîner une concentration spatiale de la desserte et des effets inattendus sur la rentabilité.

Les systèmes de transport artisanaux fonctionnent grâce à un équilibre dynamique entre les trois types d'efficacité identifiés : rendement, homogénéité spatiale de la desserte et rentabilité. Étant donné que les variables à l'influence positive sont différentes, voire s'opposent, pour chacun de ces types d'efficacité, choisir laquelle privilégier s'impose. Mais la complexité des relations entre ces différents éléments rend difficile une hiérarchisation globale. Les leviers d'action se trouvent donc dans la recherche d'un équilibre entre chaque échelle de valeurs.

Nos modèles n'ont pas été élaborés pour proposer une marche opérationnelle à suivre. Ils constituent plutôt une grille de lecture et de réflexion qui permettrait d'orienter les décisions.

Ces questions sont également économiques et sociales. Les défauts du transport artisanal sont bien connus et souvent mis en avant : inégalités d'accès [Olvera et al., 2002] ou mauvaise qualité [Lammoglia, 2013] du service, pollution atmosphérique et sonore [Sundar, 2015], précarité et pénibilité des emplois [Shadi and Brouwer, 2011]. Dans le but de conserver

les atouts du transport artisanal, notamment sa flexibilité de desserte, ces questions socio-économiques doivent être prises en compte.

Dans le contexte de l'amélioration du service, à la poursuite d'une sorte de modernisation qui améliorerait l'expérience utilisateur, les nouvelles technologies du transport artisanal apparaissent. Ainsi les *matatus* de Nairobi ont désormais une application qui permet aux utilisateurs de les géolocaliser [Williams et al., 2015]. Ce cas isolé ouvre la possibilité d'un développement nouveau du transport artisanal.

Pour lutter contre les autres limites de ce mode d'organisation, une intervention directe ou indirecte de l'État peut être envisagée. Ainsi, une desserte incomplète pourrait être compensée par la subvention d'un service dans certaines zones. À notre connaissance, ce type de mesure n'a encore jamais été mis en place. Les seules subventions accordées aux transports collectifs restent dans le cadre de transports institutionnels. Cependant, dans certaines agglomérations, des mesures économiques incitatives pour le renouvellement des véhicules ont été mises en place. Dans le but de limiter la pollution et d'améliorer la sécurité routière, la flotte d'autobus de Rio a été renouvelée avant les Jeux Olympiques de 2016 [Beyer, 2012].

La sécurisation des emplois est nécessaire pour permettre une meilleure stabilité sociale et des investissements plus réguliers. Il s'agit d'une autre solution pour la limitation des externalités négatives, des problèmes de sécurité et de santé au travail, liés notamment à l'âge des véhicules. Plusieurs façons de créer une stabilité de l'emploi sont envisageables : la constitution d'une entreprise centralisée qui emploierait les équipages ou la constitution de coopératives.

Dans le cas où une entreprise à l'organisation plus classique serait préférée, la flexibilité de la desserte peut être favorisée par un intéressement économique des équipages de véhicules. Ainsi, dans le but d'améliorer leurs revenus, les équipages auraient la liberté de construire eux-mêmes leur desserte. Cependant, une telle forme de concurrence à l'intérieur d'une même entreprise peut sembler risquée. D'autre part, la constitution d'une structure concurrente au transport artisanal même en tentant d'intégrer les artisans est un défi. Celui-ci a été maintes fois relevé et toujours avec difficultés. À ce jour, mes cohabitations ne sont pas de franc succès. Cependant, de nouvelles méthodes de co-construction sont en cours d'élaboration [Allaire, 2015].

Une autre alternative pour limiter la précarité du modèle des transports artisanaux est la coopérative. En effet, favoriser la constitution de coopératives permettrait aux artisans de conserver leur indépendance tout en mutualisant les risques. Cette solution a déjà été mise en place dans des projets de développement afin d'intégrer les populations les plus vulnérables [Renouard, 2007] ou de favoriser le développement local [Torre, 2015]. Dans le secteur

des transports collectifs urbains, les initiatives de ce type sont rares. Au Mexique, de telles structures ont émergé à l'initiative des chauffeurs, cependant elles n'ont pas réussi à laisser suffisamment d'autonomie au chauffeur pour conserver les avantages du modèle artisanal [Villarreal, 2008]. D'autre part, les risques de créer simplement un échelon de plus entre les équipages de véhicule et les pouvoirs publics sont forts. Le phénomène a déjà été observé à Lima [Bielich, 2011] et à Djakarta [Desmoulière, 2016] par exemple. La structuration en coopérative a été utilisée au Brésil pour intégrer le transport artisanal à un réseau planifié [Beyer, 2012]. Ce projet n'a pas permis l'intégration de la totalité des artisans, les coopératives n'étaient pas l'objectif final du projet [Golub et al., 2009].

6.3.2 Apports de l'intelligence distribuée pour les transports collectifs

Dans le vaste domaine du transport collectif, l'adaptation de l'offre à la demande fait partie des questions centrales. Toute volonté de promotion du déplacement collectif se trouve confrontée à la question de l'agrégation de la demande autour de l'offre ou inversement.

Dans ce contexte, les tentatives d'adaptation de l'offre à la demande se développent en France. Pourtant, le transport à la demande crée des coûts trop importants pour les collectivités [Castex, 2016] et les services les plus flexibles sont principalement spécialisés, c'est-à-dire destinés à des publics particuliers (usagers du TER ou personnes à mobilité réduite par exemple) [Castex, 2007]. En parallèle, le transport artisanal semble avoir les qualités qui manquent au transport à la demande en France [Lammoglia, 2013].

L'autonomie des équipages de véhicules permet la flexibilité de desserte. Cette intelligence distribuée dans le système de transport lui permet de réagir en permanence aux évolutions de son environnement. Pour le transport collectif, une voie d'amélioration réside donc dans le développement de cette autonomie des équipages de véhicules. Celle-ci peut reposer sur le développement de technologies permettant d'adapter en permanence le service ou sur la possibilité de décisions pour les chauffeurs. Le choix de la stratégie adoptée pour les véhicules pourrait s'inspirer du transport artisanal en fonction du contexte urbain.

D'un point de vue purement technique, des entreprises et *start-ups* tentent de mettre en place des solutions de facilitation pour le rapport offre / demande. Par exemple, Ecov³ propose de mettre en relation des chauffeurs avec des passagers sur des déplacements à courte distance, sans professionnalisation des conducteurs. Padam Bus⁴ propose d'améliorer la communication entre chauffeurs professionnels et usagers. Dans la même démarche, les

3. <http://www.ecov.fr>

4. <http://www.padambus.com>

systèmes d'information multimodaux développés par les syndicats de transport de différentes régions (Île de France, Bretagne, Pays de la Loire ...) tentent également de faciliter l'accès au transport. A notre connaissance, aucune technologie ne permet pour l'instant le calcul d'itinéraires ou de fréquences en fonction de la demande et en temps réel pour des transports collectifs. Uber propose bien un service similaire, mais pour des transports individuels, le Véhicule de Transport avec Chauffeur (VTC) ne prend qu'un seul trajet à la fois : si les passagers sont plusieurs, c'est qu'ils ont réservé ensemble, comme pour un taxi. Cependant, une évolution de cette application vers un service collectif ne saurait être exclue.

En réalité, la question soulevée ici est tout autant sociale que technique. En effet, la nouvelle économie numérique qui se développe en France et dans les pays du Nord pourrait permettre de trouver des solutions technologiques pour un transport collectif plus flexible. Cependant, ces nouvelles formes de travail créent des situations sociales qui doivent être questionnées. D'autre part, l'autonomie du salarié dans son quotidien soulève un certain nombre de questions qui semblent difficilement compatibles avec les formes d'organisation du travail actuelles.

6.3.3 Dans un contexte de système de transport institutionnel existant : pistes pour une libéralisation du service, pas de l'emploi

Dans les contextes où le transport institutionnel est déjà en place, l'arrivée de nouvelles technologies orientées vers les transports collectifs et l'émergence de l'"économie collaborative" créent des situations nouvelles. Ainsi, la libéralisation du secteur permise par le contexte actuel rend possible une réapparition des artisans du transport collectif. Ces derniers avaient disparu en France au cours du XX^{me} siècle [Passalacqua, 2017].

L'exemple d'Uber est particulièrement parlant, puisque nous nous intéressons aux transports, mais nous pourrions aussi citer les cas d'Airbnb ou Deliveroo. Ces nouveaux *business models* se construisent en opposition aux anciens et remettent en cause des modes de fonctionnement institutionnels. En effet, ils revendiquent l'inutilité de toute régulation du service et se présentent comme porteur de bénéfices pour la collectivité, notamment en termes de pouvoir d'achat. Ils peuvent être perçus comme des voies d'innovation en matière économique et entrepreneuriale [Diridollou et al., 2017]. Il n'en reste pas moins qu'ils contournent le salariat et entraînent une déconstruction des structures collectives [Abdelnour, 2017]. En termes économiques et sociaux, Uber fonctionne de la même manière que le transport artisanal, mis à part la mise en place d'une plate-forme numérique : les chauffeurs sont des indépendants qui ne disposent d'aucune couverture sociale [Bianquis, 2017]. L'introduction de ces nouvelles

formes d'activités économiques numériques pose une question politique : doit-on maîtriser l'ubérisation⁵ et comment ? Ces innovations technologiques bouleversent l'économie et ne sont plus seulement des outils [Soufron, 2015]. Elles font émerger de nouveaux modèles économiques regroupés sous le vocable "économie du partage" ou "économie collaborative", qui participent de l'ubérisation et touchent tous les secteurs de l'économie. Ils reposent au départ sur des valeurs partagées qui sont l'horizontalité des organisations, la démocratisation des compétences, le passage de la propriété à l'accès [Borel et al., 2015]. Auxquelles s'ajoute parfois une nouvelle médiation qui fait passer du *peer-to-peer* à l'apparition de nouveaux intermédiaires via des plates-formes numériques ; la marchandisation d'activités autrefois gratuites, en témoignent les nouvelles fonctionnalités *Experiences* d'Airbnb ; la tension entre des activités locales qui doivent s'adapter aux besoins globaux générés par les plates-formes [Borel et al., 2015]. Un certain flou conceptuel entoure donc cette économie qui relève à la fois de l'alternative au triptyque propriété, développement, croissance ; et du renouveau du capitalisme par une marchandisation du partage [Schor, 2016]. Du point de vue du travailleur "flexible" des plates-formes comme Uber ou Deliveroo, la liberté est toute relative : ils se voient imposer leurs prix, leurs outils, leurs tenues de travail, des protocoles d'accueil des clients ... [Jacquet and Leclercq, 2016]. L'indépendance des travailleurs de ces plates formes est donc à remettre en question. Ils ont finalement les inconvénients du salariat sans en avoir les avantages [Brygo and Cyran, 2016]. En ayant conscience de leur situation, les travailleurs de Deliveroo comme de Uber tentent de se faire reconnaître salariés de ces plates-formes.

Le défi qui se pose ici dépasse la question du transport collectif. Il s'agit de penser une nouvelle façon d'organisation le travail qui soit flexible et laisse suffisamment d'initiative au salarié tout en conservant suffisamment d'acquis sociaux. En effet, dans le transport artisanal, le service n'est flexible que grâce à l'autonomie des équipages. Dans le cas français, cette autonomie pourrait être envisagée dans le cadre sécurisant du salariat, ce qui permettrait de préserver les acquis sociaux.

Prenons le problème dans l'autre sens, c'est-à-dire en essayant de libérer les salariés plutôt qu'en essayant de salarier la flexibilité. Comme le disait déjà Pierre Bourdieu il y a vingt ans, "les travailleurs peuvent concourir à leur propre exploitation, par l'effort même qu'ils font pour s'approprier leur travail et qui les attache à lui par l'intermédiaire des libertés, souvent infimes

5. Ce néologisme désigne le processus de généralisation de formes économiques similaires à celles de l'entreprise Uber. Ces entreprises transforment des secteurs d'activité existants par l'utilisation de nouvelles technologies numérique [Vergès, 2017]. Ces transformations n'ont pourtant de nouveau que leur dimension numérique. Il s'agit d'une dérégulation libérale qui repose sur une stratégie populiste [Kyrou, 2015]. Cette dernière utilise l'innovation et la liberté individuelle, aux avantages économiques indéniables, tout en favorisant l'évasion fiscale au niveau des entreprises [Béja, 2015].

et presque toujours “fonctionnelles”, qui leur sont laissées” [Bourdieu, 1997]. Ces libertés fonctionnelles sont tout ce qu’il reste aux salariés d’aujourd’hui et même aux travailleurs de Deliveroo et de Uber. Le contexte actuel de la gestion des ressources humaines est plutôt orientée vers la mise en place de procédures très contraignantes qui empêchent les salariés d’avoir de l’initiative et de l’autonomie [Linhart, 2017].

La question qui se pose est bien plus celle de l’autonomie des travailleurs. Et celle-ci n’est absolument pas antinomique du salariat. Ce dernier ne demande qu’à être réinventé. La voie de l’ultralibéralisme a montré ses limites avec Uber sur le plan social. Celle de l’entreprise centralisée n’est pas suffisamment flexible pour proposer des transports adaptés. Une troisième voie est à inventer donc pour allier flexibilité du service et sécurisation de l’emploi.

L’implication et l’autonomie des travailleurs sont au cœur du modèle coopératif [Loarne-Lemaire and Noël-Lemaître, 2015]. Il s’agit d’une gestion alternative de l’organisation du travail. Les réflexions autour de l’autogestion ne sont pas nouvelles [Castoriadis, 1979] mais l’exemple des Sociétés Coopératives illustre un renouveau des modèles d’entreprises où le salarié-associé a plus de libertés dans son travail [Charmettant et al., 2016]. Au-delà du transport collectif, les organisations coopératives apparaissent comme particulièrement adaptées à répondre à la complexité du monde économique actuel [Adam, 2013].

D’autre part, les simulations et les analyses précédentes ont montré que les deux stratégies de transport artisanal identifiées sont en permanence à la recherche de l’équilibre entre rentabilité et rendement ou homogénéité de la desserte. En allant plus loin, la question de la place donnée à la rentabilité dans le transport collectif de personnes se pose. De nombreuses villes en France considèrent que les transports publics doivent être gratuits [Robert, 2015]. À Aubagne comme à Niort, le transport collectif est un service public dont les bénéfices sociétaux sont plus importants que leurs dimensions économiques. Les profits indirects générés par l’augmentation de l’utilisation des transports collectifs compensent les frais de service [Fournier, 2013]. Actuellement, les orientations politiques vont pourtant vers la dissolution progressive du service public. La société civile et les entreprises doivent prendre le relais. Ce processus se matérialise, par exemple, dans le mouvement de l’Économie Sociale et Solidaire (ESS). Il regroupe des entreprises dont l’objectif est avant tout sociétal et non économique [Tovar, 2017]. Certaines de ces entreprises œuvrent dans le domaine de la mobilité et des transports, c’est le cas de Ecov⁶ ou Wimoov⁷ par exemple.

6. <http://www.ecov.fr>

7. <http://www.wimoov.org>

6.4 Conclusion du Chapitre 6

Les transports artisanaux s'adaptent à leur contexte urbain. Chacune des stratégies que nous avons identifiées développe un certain type d'efficacité en fonction de son environnement. Ainsi, le rendement, l'homogénéité spatiale ou la rentabilité de la gestion des fréquences et de la gestion des itinéraires sont favorisées par une forme de réseau ou de demande, un nombre de bus ou un prix du ticket différents (voir Figure 6.19). Ces variables structurantes forment des contextes urbains particuliers.

Dans une perspective d'aménagement, il semblerait envisageable d'infléchir les systèmes auto-organisés en intervenant sur ces variables. La hiérarchisation des éléments de contexte pertinents pour favoriser un certain type d'efficacité permet de donner des pistes d'action. Cependant, l'écosystème urbain reste un système complexe. Les interventions sur la ville et sur les transports artisanaux agissent sur un équilibre dynamique dont les réactions sont parfois imprévues. Ainsi il s'agit ici d'orienter la réflexion et de l'adapter à chaque contexte.

La question posée par le transport artisanal est autant technique que technologique, économique et sociale. La flexibilité du service le rend particulièrement adaptable grâce à l'autonomie des équipages de véhicules. Cette caractéristique permet d'ouvrir la voie à des réflexions sur l'avenir du transport collectif dans les pays du Sud comme du Nord. Si certaines pistes d'intervention sur les transports artisanaux n'ont pas encore été testées, l'évolution de ces systèmes vers une meilleure qualité de service, environnementale et sociale semble possible. Sur le plan technique, les apports de l'intelligence distribuée pour le transport collectif sont indéniables pourtant la question dépasse le transport en commun. L'autonomie du travailleur est au croisement de la flexibilité, spatiale et temporelle, du service et de la sécurité de l'emploi. Ainsi les transports de demain posent avant tout la question de la place de l'individu dans le travail et dans la société.

Conclusion

Cette thèse défend l'intérêt d'appliquer une méthode de modélisation basée sur l'auto-organisation et les systèmes multi-agents pour analyser les transports collectifs artisanaux. Cette méthode permet de souligner que les structures et dynamiques émergentes de ces transports dépendent des stratégies individuelles et de la structure urbaine. Notre objectif était donc double : analyser les mécanismes qui sous-tendent le fonctionnement des transports artisanaux et proposer méthode de modélisation adaptée à partir des théories de l'auto-organisation et des systèmes multi-agents. Notre cheminement nous amène de l'observation des structures du transport artisanal à la modélisation de ces systèmes afin de comprendre puis d'analyser les mécanismes qui s'y déroulent.

L'étonnement

Nous avons montré que les transports et la mobilité recouvrent des enjeux sociaux, économiques et environnementaux multiples. Ils prennent part au système complexe qu'est la ville. Dans ce contexte, les transports non institutionnels doivent être considérés sérieusement (Partie 1). Ils constituent un mode d'organisation original qui repose sur l'éclatement de la propriété et l'autonomie des équipages de véhicules. Ces transports artisanaux participent des principaux enjeux de la mobilité et de l'aménagement urbain des villes des Suds (Chapitre 1). En effet, dans les pays à faible taux de motorisation, ces transports permettent la mobilité quotidienne de plusieurs millions de personnes et compensent l'absence ou l'inefficacité de transports institutionnels. Ils sont particulièrement adaptables et constituent une réponse réactive à la demande.

À partir d'une exploration bibliographique et des cas de Lima et Brazzaville, nous avons identifié deux types d'auto-organisation qui correspondent aux deux principales dimensions d'un service de transport : la gestion de l'itinéraire et la gestion des fréquences (Chapitre 2). Ce travail s'intéresse particulièrement aux cas de Brazzaville et Lima pour plusieurs raisons. En premier lieu, ces deux villes constituent des exemples de fonctionnements différents des transports collectifs. Leurs systèmes reposent cependant principalement sur le secteur artisanal. D'autre part, la stratégie de gestion des itinéraires et la stratégie gestion des fréquences correspondent à deux dimensions du transport artisanal qui constituent une typologie opérationnelle. Finalement, notre étonnement autour de ces systèmes repose sur une observation scalaire : à échelle macro, une intelligence collective apparaît à partir des stratégies individuelles des équipages de véhicules.

Modéliser, Analyser

Cet étonnement nous conduit du terrain à la modélisation à travers différentes approches pour comprendre et analyser les ressorts de ce fonctionnement (Partie 2). Les propriétés émergentes des systèmes de transport artisanaux se traduisent par une desserte étendue et par l'existence de centralités spatiales et temporelles. Elles correspondent à une certaine adaptation à la demande. En fonction du type d'auto-organisation concerné, des spécificités peuvent être observées (Chapitre 3). Ces caractéristiques à échelle macro sont stables et les mécanismes stratégiques qui les sous-tendent également. Pourtant nous avons besoin de comprendre comment les deux sont reliés.

C'est pourquoi nous avons utilisé la modélisation multi-agents afin de construire des modèles individus-centrés qui nous permettraient de comprendre quels sont les éléments structurants de ces relations. Les modèles proposés reposent sur la construction progressive d'une mémoire des choix par les agents. Ceux-ci élaborent ainsi leur propre représentation de l'espace et des stratégies tout au long de la simulation. Chaque agent a donc un parcours différent et n'a pas d'objectif a priori qui concernerait l'ensemble du système. Ces principes de fonctionnement sont mis au point à partir de nos enquêtes sur les deux systèmes de transport et correspondent à un système auto-organisé.

Les types d'auto-organisation étudiés ont des variables structurantes similaires, mais ne réagissent pas de la même façon à leurs fluctuations. Ainsi, les deux stratégies ne produisent pas les mêmes structures et n'évoluent pas selon les mêmes dynamiques. Pour les systèmes de transport auto-organisés, les deux types de stratégie s'adaptent à leurs contextes urbains d'apparition. Ces derniers sont définis par la forme de la demande, celle du réseau et le rapport entre l'offre et la capacité des infrastructures. Il semblerait que chacune ait un contexte urbain de prédilection qui favorise un meilleur fonctionnement. Dans des modèles basés sur les cas de Lima et Brazzaville, la saturation du réseau n'a pas le même effet sur les deux systèmes. La stratégie de gestion des fréquences à Lima gère mieux les embouteillages que la stratégie de gestion des itinéraires à Brazzaville. De même, la stratégie de gestion des itinéraires est bien adaptée à une demande homogène et alors que pour la stratégie de gestion des fréquences il est préférable d'avoir une demande dispersée (Chapitre 4). Cependant, les éléments structurants et leurs effets ne sont réellement comparables que dans un contexte urbain similaire. Cette première série de modèles nous a permis de comprendre comment émergent les structures des transports collectifs artisanaux à Lima et à Brazzaville.

Abstractions

Afin de définir quels sont les contextes de prédilection de chacun de nos systèmes, nous avons construit des environnements urbains théoriques (Partie 3). Cette démarche expérimentale nous conduit à tester l'adaptabilité des systèmes auto-organisés à des villes dont les caractéristiques en termes de réseau, de demande, d'offre de transport et de contexte économique sont différentes. Les deux stratégies étudiées ont bien un contexte de prédilection différent (Chapitre 5). La construction du service de transport repose sur un équilibre dynamique entre rendement, rentabilité et répartition spatiale de la desserte. Ces propriétés des systèmes sont influencées par les types de stratégie, les caractéristiques du réseau et de la demande, l'offre et le contexte économique. À partir de la hiérarchisation de ces différents aspects du transport artisanal ou de son contexte d'apparition, nous avons identifié quels sont les potentiels leviers d'action pour orienter ces systèmes de transport dans une direction choisie. Cependant, nos modèles n'ont pas la prétention d'être prédictifs. La complexité des phénomènes étudiés et des écosystèmes urbains dépasse la simplification propre à la modélisation. Nous proposons donc des pistes de réflexion (Chapitre 6).

Perspectives scientifiques

Le résultat proposé est composé de plusieurs modèles, du plus appliqué au plus abstrait. Ces modèles formalisent le fonctionnement des transports artisanaux, basés sur la gestion des itinéraires et sur la gestion des fréquences. Ils expliquent également les relations entre leurs propriétés émergentes et les caractéristiques stratégiques et contextuelles des systèmes. Ils sont construits selon une démarche méthodologique qui croise les données de terrain et les théories de l'auto-organisation.

Sur le plan théorique, notre proposition d'approche par l'auto-organisation des systèmes de transport artisanaux permet de mettre au service de l'analyse de ces situations un arsenal d'outils méthodologiques et techniques. Cette grille de lecture nous a permis de trouver les concepts nécessaires à l'analyse des fonctionnements des transports artisanaux. Nos modèles sont issus de ce positionnement scientifique riche en ressources. Il s'agit cependant d'une utilisation très appliquée de l'auto-organisation. Les données issues de nos enquêtes prennent une place très importante dans la construction de nos modèles. Nous avons donc construit des formes d'auto-organisation particulières.

Sur le plan appliqué, les leviers d'action identifiés dans le chapitre 6 sont autant de relations entre le niveau micro et le niveau macro qui éclairent les modes de fonctionnement des systèmes de transport. Nous pouvons d'ores et déjà constater que les transports artisanaux sont

une émanation de leur environnement urbain. Les atouts et les limites de ces systèmes reposent sur leur adaptabilité à différents contextes. Cependant, les modèles que nous proposons intègrent peu les dimensions sociales liées à l'organisation du secteur. Du point de vue des acteurs de l'offre de transport, les rapports sociaux sont structurants et nous les avons pris en compte de manière indirecte dans l'élaboration des stratégies des équipages. Ils ne constituent pourtant pas l'essentiel de notre modèle, qui est plus économique. Cet aspect nous tient à cœur, mais notre cheminement nous a orientée vers une dimension plus technique autour de l'adaptation et du rapport offre / demande. L'intégration d'un paradigme social en contrepoint du paradigme économique dans la construction des modèles serait un moyen d'affiner la méthode. Dans une potentielle dimension opérationnelle, l'intégration de stratégies de mobilité pour les usagers et d'interactions avec d'autres modes de transport, à partir de modèles déjà existants, pourrait permettre de proposer des modèles de mobilité urbaine intégrant les enjeux du transport artisanal.

Vers une transposition Sud / Nord ?

Le transport artisanal constitue une solution pour le transport collectif des villes où il est déjà présent. Une amélioration de ces systèmes et éventuellement la mise en cohérence avec un système planifié peut être envisageable. En ce qui concerne les villes à fort taux de motorisation, la question se pose différemment. Dans le contexte de la libéralisation des transports qui a lieu en France et en Europe, la réflexion sur le transport collectif artisanal est d'autant plus riche, et en partie transposable. Certains phénomènes observables en Europe profitent en effet de la grande adaptabilité du transport artisanal, mais les deux aspects essentiels des systèmes que nous étudions ne sont pour l'instant pas réunis : la dimension collective du déplacement et l'autonomie des équipages de véhicules.

Si les apports de l'intelligence distribuée pour l'adaptation du transport collectif sont indéniables, les supports numériques nécessaires ne sont pour l'instant pas utilisés à grande échelle. Actuellement, la flexibilisation du service de transports est basée sur la flexibilisation de l'emploi et non sur une nouvelle technologie. La forte adaptabilité des Voitures de Transport avec Chauffeur (VTC) qui utilisent des plates-formes numériques, comme Uber, repose principalement sur l'utilisation de travailleurs en grand nombre et très disponibles. Il ne s'agit pas d'une optimisation des ressources pour répondre efficacement à la demande, mais plutôt d'une utilisation massive de main d'œuvre précaire. De plus, ces solutions répondent à des besoins mobilité individuelle et non collective. En effet, les VTC sont plutôt destinés à des services de taxis que de transport collectif. Ainsi ces plates-formes n'utilisent pas réellement

l'intelligence distribuée pour permettre la mobilité collective. D'autre part, les situations sociales qui en découlent posent la question de la protection du travailleur et de sa place dans la société.

Quel que soit le contexte, les caractéristiques du transport artisanal semblent s'inscrire en creux de celles du transport institutionnel planifié. Dans certains cas, il s'agit de proposer des services plus flexibles en termes d'horaires, dans d'autres la desserte est plus étendue ou encore le coût du trajet peut être plus avantageux... Le manque de flexibilité du transport collectif pourrait être compensé par des solutions inspirées du transport artisanal. Reste à explorer leurs possibilités de cohabitations et les conséquences sociales de ces pratiques.

Bibliographie

- [Abdelnour, 2017] Abdelnour, S. (2017). 13. Moi, petite entreprise. Impacts individuels et collectifs de la diffusion de l'auto-entrepreneuriat. *Regards croisés sur l'économie*, (19) :192–203.
- [Adam, 2013] Adam, M. (2013). Les valeurs coopératives face à la crise abyssale de nos sociétés, Abstract, Resumen. *Projectics / Proyéctica / Projectique*, (11-12) :23–39.
- [Aderamo, 2013] Aderamo, A. (2013). Monitoring of road network growth in developing countries : a case of Ilorin, Nigeria. *European International Journal of Science and Technology*, 2(7) :98–105.
- [Adoléhoumé and Bi Nagoné, 2002] Adoléhoumé, A. and Bi Nagoné, Z. (2002). Abidjan, le système des Gbakas. In *Les transports et la ville en Afrique au sud du Sahara : le temps de la débrouille et du désordre inventif*. KARTHALA Editions, Paris.
- [AFITL, 2016] AFITL (2016). Le recensement des Thèses - Site de l'Afitl.
- [Agossou, 2004] Agossou, N. S. A. (2004). Les taxis-motos zemijan à Porto-Novo et Cotonou. *Autrepart*, n 32(4) :135–148.
- [Aguilera and Rallet, 2017] Aguilera, A. and Rallet, A. (2017). Mobilité connectée et changements dans les pratiques de déplacement. *Réseaux*, (200) :17–59.
- [ALC-BRT, 2016] ALC-BRT (2016). Global BRT Data.
- [Allaire, 2015] Allaire, J. (2015). Des alternatives aux politiques publiques. *Urbanisme*, (55).
- [Almeida-Topor et al., 1992] Almeida-Topor, H. d., Chanson-Jabeur, C., Lakroum, M., and Société de géographie (France) (1992). *Les transports en Afrique, XIXe-XXe siècle : actes du colloque organisé les 16 et 17 février 1990 à Paris*. L'Harmattan, Paris. OCLC : 463606495.
- [Amar, 2004] Amar, G. (2004). *Mobilités urbaines. Eloge de la diversité et devoir d'invention*. Edition de l'aube, Paris.

- [Amblard, 2006] Amblard, F. (2006). *Modélisation et simulation multi-agents. Applications pour les sciences de l'homme et de la société*. Lavoisier, Paris.
- [Amblard et al., 2006] Amblard, F., Rouchier, J., and Bommel, P. (2006). Evaluation et validation de modèles multi-agents. In *Modélisation et simulation multi-agents. Applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société*, pages 103–140. Hermès.
- [Antoni, 2010] Antoni, J.-P. (2010). *Modéliser la ville : formes urbaines et politiques de transport*. Economica.
- [Antoni, 2012] Antoni, J.-P. (2012). Modéliser les comportements pour étudier les mobilités urbaines. *Ville, Rail et Transport*, pages 65–69.
- [Antoni, 2016] Antoni, J.-P. (2016). *Concepts, méthodes et modèles pour l'aménagement et les mobilités : l'aide à la décision face à la transition éco-énergétique*. Méthodes et approches. Économica, Paris. ill. 24 cm. Issu de travaux du Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres PREDIT. Bibliogr. p. 237-247.
- [Antoni and Vuidel, 2010] Antoni, J.-P. and Vuidel, G. (2010). MobiSim : un modèle multi-agents et multi-scalaire pour simuler les mobilités urbaines. In Antoni, J.-P., editor, *Modéliser la ville. Forme urbaine et politiques de transport*, pages 50–77. Economica, Méthodes et approches.
- [Arago et al., 1994] Arago, J., Brasileiro, A., Colucci, S., and Castanha, L. (1994). La place des transports collectifs dans les villes : les cas de Recife, Salvador, Joa Pessoa et Maceio. In *Les transports dans les villes du Sud. La recherche de solutions durables*, pages 43–80. KARTHALA Editions, Paris.
- [Ardila Gómez, 2004] Ardila Gómez, A. (2004). *Transit planning in Curitiba and Bogotá : roles in interaction, risk, and change*. Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- [Arundhathi and Zia, 2017] Arundhathi and Zia, S. (2017). E-Rickshaws Sustainable Paratransit ? Marseille.
- [Ascher, 2004] Ascher, F. (2004). Préface. In *Mobilité urbaines. Eloge de la diversité et devoir d'invention*. Edition de l'aube, Paris.
- [Ascher, 2010] Ascher, F. (2010). Les sens du mouvement : modernité et mobilité. In *Les sens du mouvement. Modernité et mobilité dans les sociétés urbaines contemporaines*. Allemand, S, Ascher, F, Lévy, J., pages 21–36. Paris, belin edition.
- [Ashby, 1947] Ashby, W. R. (1947). Principels of the self-organizing dynamic system. *Journal of general psychology*, 37.

- [Atlan, 1986] Atlan, H. (1986). *Entre le cristal et la fumée : essai sur l'organisation du vivant*. Éditions du Seuil, Paris, seuil edition.
- [Audard, 2006] Audard, F. (2006). *Modélisation de la mobilité*. PhD thesis, Université de Franche Comté, Besançon.
- [Audard et al., 2012] Audard, F., Perez, J., Wester, L., and Grondeau, A. (2012). Système de transport en commun et auto-organisation. Le cas de Brazzaville. page 18, Addis Abeba.
- [Auriac, 1979] Auriac, F. (1979). *Système économique et espace : un exemple en Languedoc*. Thèse de doctorat, Université Paul Valéry, Montpellier, France.
- [Axelrod, 1997] Axelrod, R. (1997). *The Complexity of Cooperation : Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press, Princeton, N.J.
- [Aydalot, 1985] Aydalot, P. (1985). *Economie régionale et urbaine*. Economica.
- [Azaïs and Steck, 2011] Azaïs, C. and Steck, J.-F. (2011). Les territoires de l'informel. *Espaces et sociétés*, (143) :7–12.
- [Bacqué and Fol, 2007] Bacqué, M.-H. and Fol, S. (2007). L'inégalité face à la mobilité : du constat à l'injonction. *Revue suisse de sociologie*, 33(1) :89–104.
- [Balandier, 1955] Balandier, G. (1955). *Sociologie des Brazzavilles noires*. Paris, armand colin edition.
- [Banister, 2008] Banister, D. (2008). The Sustainable Mobility Paradigm. *Transport Policy*, (15) :73–80.
- [Banos, 2013] Banos, A. (2013). *Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en géographie et shs*. thesis, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.
- [Banos, 2016] Banos, A. (2016). *Modéliser, c'est apprendre : Itinéraire d'un géographe*. Editions Matériologiques.
- [Banos et al., 2015] Banos, A., Lang, C., and Marilleau, N. (2015). *Agent-Based Spatial Simulation with NetLogo*. Elsevier.
- [Banos et al., 2016] Banos, A., Lang, C., and Marilleau, N. (2016). *Agent-based Spatial Simulation with NetLogo, Volume 2 : Advanced Concepts*. Elsevier.
- [Banos and Sanders, 2012] Banos, A. and Sanders, L. (2012). Vers une cartographie sémantique des modèles urbains : des individus aux systèmes de villes. In *Hégrong (dir.) La modélisation de la ville : du modèle au projet urbain*. ommissariat général au développement durable, Paris.

- [Batty and Longley, 1986] Batty, M. and Longley, P. A. (1986). The Fractal Simulation of Urban Structure. *Environment and Planning A*, 18(9) :1143–1179.
- [Batty and Torrens, 2001] Batty, M. and Torrens, P. M. (2001). Modelling complexity : The limits to prediction. *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Bavoux et al., 2005] Bavoux, J.-J., Beaucire, F., and Chapelon, L. (2005). *Géographie des transports*. U. Série Géographie, ISSN 0768-2875.
- [Bayat, 2012] Bayat, A. (2012). Politics in the City-Inside-Out. *City & Society*, 24(2) :110–128.
- [Behrens et al., 2012] Behrens, R., McCormick, D., and Mfinanga, D. (2012). An evaluation of policy approaches to upgrading and integrating paratransit in African urban public transport systems : Results of the first round of a Delphi survey. In *Actes de la Conférence CODATU XV*, Addis Abeba.
- [Behrens et al., 2015] Behrens, R., McCormick, D., and Mfinanga, D. (2015). *Paratransit in African Cities : Operations, Regulation and Reform*. Routledge.
- [Belay, 2004] Belay, R. (2004). L'informe d'une ville : Lima et ses représentations. *Raisons politiques*, 15 :69.
- [Bellengère et al., 2004] Bellengère, A., Khan, S., Lootvoet, B., and Vermeulin, S. (2004). Privatiser pour mieux réguler ? Le pari de Durban en matière de transport public. *Autrepart*, 32 :75.
- [Benkirane, 2002] Benkirane, R. (2002). *La Complexité, vertiges et promesses : 18 histoires de sciences d'aujourd'hui*. Editions le Pommier, Paris.
- [Bennafla, 2012] Bennafla, K. (2012). *Pour une géographie des bordures à l'heure globale : frontières et espaces d'activités "informelles"*. Habilitation à diriger des recherches, Paris Ouest Nanterre, Paris.
- [Berroir et al., 2017] Berroir, S., Delage, M., Fleury, A., Fol, S., Guérois, M., Maulat, J., Raad, L., and Vallée, J. (2017). Mobilité au quotidien et ancrage local dans les espaces périurbains. *Annales de géographie*, (713) :31–55.
- [Bertalanffy, 1951] Bertalanffy, L. (1951). An Outline of General System Theory. *British Journal of the Philosophy of Science*, (1) :134–165.
- [Bertalanffy, 1993] Bertalanffy, L. (1993). *Théorie générale des systèmes*. Dunod, Paris.
- [Bertrand, 2010] Bertrand, M. (2010). Introduction. *Tiers Monde*, 201(1) :7.

- [Beyer, 2012] Beyer, A. (2012). Les habits neufs du transport public à Rio de Janeiro. Évolution des acteurs et des stratégies de l'offre de transport de bus dans la perspective des JO de 2016. *Problèmes d'Amérique latine*, N 85(3) :45–59.
- [Bianquis, 2017] Bianquis, G. (2017). Le chauffeur Uber, entrepreneur précaire ? *Regards croisés sur l'économie*, (19) :155–159.
- [Bielich, 2011] Bielich, C. (2011). De las empresas de transporte publico al metropolitano.
- [Béja, 2015] Béja, A. (2015). Les métamorphoses du capitalisme. *Esprit*, Juillet(7) :5–8.
- [Boeck and Jacquemin, 2012] Boeck, F. D. and Jacquemin, J.-P. (2012). La ville de Kinshasa, une architecture du verbe. *Esprit*, Décembre(12) :79–105.
- [Boirel, 1988] Boirel, R. (1988). Des interactions au système coexistant. *Revue internationale de systémique*, (3).
- [Boltanski and Chiapello, 1999] Boltanski, L. and Chiapello, v. (1999). *Le nouvel esprit du capitalisme*. Gallimard, Paris, essais edition.
- [Bommel, 2009] Bommel, P. (2009). *Définition d'un cadre méthodologique pour la conception de modèles multi-agents adaptée à la gestion des ressources renouvelables*. phdthesis, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc.
- [Bonerandi, 2004] Bonerandi, E. (2004). De la mobilité en géographie.
- [Bonnefoy, 2005] Bonnefoy, J. L. (2005). *Etude de géographie théorique et expérimentale*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Provence, Aix en Provence.
- [Bonvalet and Brun, 2002] Bonvalet, C. and Brun, J. (2002). Etat des lieux des recherches sur la mobilité résidentielle en France. In Lévy, J.-P., Dureau, F. (dir.), *L'accès à la ville. Les mobilités spatiales en question*, pages 15–64. L'Harmattan, Paris.
- [Booth et al., 2000] Booth, D., Hanmer, L., and Lovell, E. (2000). *Poverty and Transport. A Report Prepared for the World Bank in Collaboration with DFID*. Overseas Development Institute, London.
- [Borderon, 2016] Borderon, M. (2016). *Entre distance géographique et distance sociale : le risque de paludisme-infection en milieu urbain africain : L'exemple de l'agglomération de Dakar, Sénégal*. Theses, Aix Marseille Université.
- [Borel et al., 2015] Borel, S., Massé, D., and Demailly, D. (2015). L'économie collaborative, entre utopie et big business. *Esprit*, Juillet(7) :9–18.
- [Borthagaray, 2006] Borthagaray, A. (2006). Les couloirs de bus et les taxis à Buenos-Aires : un exemple de gouvernance de la rue. *Flux*, n 66-67(4) :134–136.

- [Boubakour, 2008] Boubakour, F. (2008). Transport artisanal et transport par taxi clandestin : le cas de la ville de Bathna (Algérie). Evolution et perspectives. In *Le transport artisanal dans les villes méditerranéennes*, number 114 in Actes INRETS, pages 61–78. Aix en Provence, les collections de l'inrets edition.
- [Boudon, 1985] Boudon, R. (1985). *La place du désordre : critique des théories du changement social*. Presses universitaires de France.
- [Bouillon, 2016] Bouillon, S. (2016). Au Kenya. Minibus maxi forme. *Libération*.
- [Bourdieu, 1997] Bourdieu, P. (1997). La double vérité du travail. In *Méditations Pascaliennes*. Seuil, Paris.
- [Bourdin, 2007] Bourdin, A., editor (2007). *Mobilité et écologie urbaine*. Descartes & Cie, Paris.
- [Bouvier, 2011] Bouvier, A. (2011). Connaissance de l'individuel et science du general. Une comparaison entre sciences de l'homme en société et sciences de la nature. In *Les sciences humaines sont-elles des sciences ?* Vuibert, Besançon.
- [Bovy and Krayenbuhl, 1979] Bovy, P. and Krayenbuhl, V. (1979). *Report of the Fourtieth Round Table on Transport Economics held in Paris on 26th-27th January 1978*. OECD Publications and Information Center, Paris, oecd publications and information center edition.
- [Brenac et al., 2013] Brenac, T., Reigner, H., and Hernandez, F. (2013). Centres-villes aménagés pour les piétons : développement durable ou marketing urbain et tri social? *Recherche Transports Sécurité*, (4) :271–282.
- [Brenner et al., 2010] Brenner, N., Peck, J., and Theodore, N. (2010). After Neoliberalization? *Globalizations*, 7(3) :327–345.
- [Breton, 2005] Breton, r. L. (2005). *Bouger pour s'en sortir - Mobilité quotidienne et intégration sociale*. Armand Colin, Paris.
- [Brun et al., 2003] Brun, J., Collectif, Segaud, M., and Driant, J.-C. (2003). *Dictionnaire de l'habitat et du logement*. Armand Colin, Paris.
- [Bruneau, 2006] Bruneau, M. (2006). Les géographes français et la tropicalité, à propos de l'Asie des moussons. *L'Espace géographique*, Tome 35(3) :193–207.
- [Bruneau and Courade, 1984] Bruneau, M. and Courade, G. (1984). Existe-t-il une géographie humaine tropicale? [À la recherche du paradigme de Pierre Gourou] : À la recherche du paradigme de Pierre Gourou. *Espace géographique*, 13(4) :306–316.

- [Brunet, 1974] Brunet, R. (1974). *La France maintenant - Roger Brunet - Larousse*. Découvrir la France. Larousse.
- [Brunet, 2000] Brunet, R. (2000). Des modèles en géographie. *Bulletin de la société géographique de Liège*, (2) :22–30.
- [Brunet, 2001] Brunet, R. (2001). *Le déchiffrement du monde : théorie et pratique de la géographie*. Belin.
- [Brunet and Dolfus, 1990] Brunet, R. and Dolfus, O. (1990). *Mondes nouveaux*. Number 1 in Géographie Universelle. Belin, Paris.
- [Brunet et al., 1993] Brunet, R., Ferras, R., and Théry, H. (1993). *Les mots de la géographie : dictionnaire critique*. RECLUS.
- [Brygo and Cyran, 2016] Brygo, J. and Cyran, O. (2016). *Boulots de merde ! : Du cireur au trader, enquête sur l'utilité et la nuisance sociales des métiers*. La Découverte.
- [Burgel, 1984] Burgel, G. (1984). L'Université, avec circonstances aggravantes. *Espaces Temps*, 26(1) :38–41.
- [Bursaux, 2014] Bursaux, D. (2014). Quelles sont les attentes des voyageurs en France ?, What expectations do passengers have in France ? *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, (75) :35–39.
- [Calderón Cockburn, 2005] Calderón Cockburn, J. (2005). *La ciudad ilegal : Lima en el siglo XX*. Fondo Editorial de la Facultad de Ciencias Sociales UNMSM.
- [Carel, 2004] Carel, M. (2004). Note sur l'abduction, Abstract. *Travaux de linguistique*, no49(2) :95–113.
- [Carpentier, 2007] Carpentier, S. (2007). *Mobilité quotidienne et ancrage résidentiel : Différenciation des pratiques spatiales et des représentations sociales selon la structure urbaine. L'exemple du Luxembourg*. Université Louis Pasteur (Strasbourg).
- [Castells, 2000] Castells, M. (2000). *The Rise of The Network Society : The Information Age : Economy, Society and Culture*. Wiley.
- [Castex, 2007] Castex, E. (2007). *Le Transport A la Demande (TAD) en France : de l'état des lieux à l'anticipation. Modélisation des caractéristiques fonctionnelles des TAD pour développer les modes flexibles de demain*. phdthesis, Université d'Avignon.
- [Castex, 2016] Castex, I. (2016). Le développement du transport à la demande en France : la pérennité du TAD à l'épreuve des réformes territoriales. *Flux*, (106) :43–57.

- [Castoriadis, 1979] Castoriadis, C. (1979). *Auto-gestion et hiérarchie*. Editions Grain de Sable.
- [Cauvin, 2007] Cauvin, C. (2007). Géographie et mathématique statistique, une rencontre d'un nouveau genre. *La revue pour l'histoire du CNRS*, (18).
- [Cerezuelle and Roustang, 2010] Cerezuelle, D. and Roustang, G. (2010). *L'autoproduction accompagnée*. Sociologie économique. Eres, Paris.
- [Certu and Gart, 2005] Certu and Gart (2005). *Annuaire statistique - Transports collectifs urbains. Évolution 1999-2004*. Données.
- [Cervero, 1997] Cervero, R. (1997). *Paratransit in America : Redefining Mass Transportation*. Praeger.
- [Chadule, 1994] Chadule, G. (1994). *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*. Masson.
- [Chaléard et al., 2016] Chaléard, J.-L., Berger, M., and Ninot, O. (2016). Métropolisation et recompositions des espaces à dominante rurale à la périphérie des métropoles des Suds (Périsud). *Revue Tiers Monde*, HS(2) :199–221.
- [Chanteau et al., 2016] Chanteau, J.-P., Grouiez, P., Labrousse, A., Lamarche, T., Michel, S., Nieddu, M., and Vercueil, J. (2016). Trois questions à la théorie de la régulation par ceux qui ne l'ont pas fondée. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (19).
- [Chardonnel, 2001] Chardonnel, S. (2001). La time-geography : les individus dans le temps et dans l'espace. In *Léna Sanders (dir.), "Modèles en analyse spatiale"*, pages 129–156. Hermès, Paris.
- [Charmes and Adair, 2014] Charmes, J. and Adair, P. (2014). L'inconstant caméléon, ou comment appréhender l'informel? *Mondes en développement*, (166) :7–16.
- [Charmettant et al., 2016] Charmettant, H., Juban, J.-Y., Magne, N., and Renou, Y. (2016). La « sécuflexibilité » au-delà des tensions entre flexibilité et sécurité de l'emploi, les sociétés coopératives et participatives (Scop). *Formation emploi*, (134) :107–124.
- [Chen et al., 2008] Chen, D., Theodoropoulos, G. K., Turner, S. J., Cai, W., Minson, R., and Zhang, Y. (2008). Large scale agent-based simulation on the grid. *Future Generation Computer Systems*, 7(24) :658–671.
- [Chion, 2002] Chion, M. (2002). Dimensión metropolitana de la globalización : Lima a fines del siglo XX. *EURE (Santiago)*, 28(85) :71–87.
- [Choay, 1972] Choay, F. (1972). *Le sens de la ville*. Seuil, Paris.

- [Cholley, 1942] Cholley, A. (1942). *Guide de l'étudiant en géographie*. Presses universitaires de France.
- [Citton and Lordon, 2008] Citton, Y. and Lordon, F. (2008). Un devenir spinoziste des sciences sociales? *Revue du MAUSS permanente*.
- [Clastres, 2011] Clastres, P. (2011). *La Société contre l'Etat*. Minuit.
- [Claval, 1970] Claval, P. (1970). La géographie urbaine. *La revue géographique de Montréal*.
- [Claval, 2008] Claval, P. (2008). Espace et territoire., Summary. *Géographie, économie, société*, 10(2) :157–184.
- [Clerc, 2015] Clerc, V. (2015). Du changement climatique aux quartiers informels durables : une nouvelle vision stratégique pour les villes du Sud? *Cahiers des Ifre*, (1) :53–59.
- [CNSEE, 2009] CNSEE (2009). *Annuaire statistique du Congo 2009*. Technical report, Ministère de l'économie et du plan, Brazzaville.
- [Cobb, 1998] Cobb, C. W. (1998). *Lessons Learned from the History of Social Indicators*. Redefining Progress.
- [Commenges, 2013] Commenges, H. (2013). *L'invention de la mobilité quotidienne : aspects performatifs des instruments de la socio-économie des transports*. Paris 7.
- [Comte, 1830] Comte, A. -. A. d. t. (1830). *Cours de philosophie positive. [Tome 1] / par M. Auguste Comte,...*
- [Consultants, 2005] Consultants, I. T. (2005). *Public Private Infrastructure Advisory Facility : Study of urban public transport conditions in Addis Ababa, Ethiopia*. Technical report, IBIS Transport Consultants.
- [Coquery-Vidrovitch, 1993] Coquery-Vidrovitch, C. (1993). La ville coloniale : 'lieu de colonisation' et métissage culturel. *Afrique contemporaine*, (168) :11–22.
- [Coquillard and Hill, 1997] Coquillard, P. and Hill, D. (1997). *Modélisation et simulation de-ecosystèmes : Des modèles déterministes aux simulations à événements discrets*. Recherche en écologie. Masson, Paris.
- [CREPAO, 1981] CREPAO (1981). *Le Congo : Banlieue de Brazzaville*. Politique Africaine. KARTHALA Editions, Pau.
- [Criqui, 2014] Criqui, L. (2014). *Attention Travaux en cours L'extension des réseaux de services essentiels dans les quartiers irréguliers de Delhi et Lima*. phdthesis, Université Paris-Est Marne-la-Vallée.

- [Crozet and Joly, 2006] Crozet, Y. and Joly, I. (2006). *La "Loi de Zahavi" : quelle pertinence pour comprendre la construction et la dilatation des espaces-temps de la ville ?* Coll. Recherches du PUCA, n 163. Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA). 89 p.
- [Cuyala, 2014] Cuyala, S. (2014). *Analyse spatio-temporelle d'un mouvement scientifique. L'exemple de la géographie théorique et quantitative européenne francophone.* phdthesis, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- [Daudé, 2002] Daudé, E. (2002). *Modélisation de la diffusion d'innovations par la simulation multi-agents. L'exemple d'une innovation en milieu rural.* phdthesis, Université d'Avignon.
- [Daudé, 2004] Daudé, E. (2004). Apports de la simulation multi-agents à l'étude des processus de diffusion. *Cybergeo : European Journal of Geography*. Depuis le milieu des années 1990, la simulation informatique et les méthodes individu-centrées connaissent de nombreux développements dans les sciences sociales. Ces méthodes offrent la possibilité de modéliser directement les comportements et les interactions au niveau des entités élémentaires d'un système afin de simuler la dynamique d'un phénomène à un niveau supérieur. Il s'agit ainsi d'expliquer comment des dynamiques et des régularités présentes à un niveau global d'observation peuvent ...
- [Davis, 2005] Davis, M. (2005). La planète bidonville : involution urbaine et prolétariat informel. *Mouvements*, no 39-40(3) :9-24.
- [Day and P. B. Quinn, 1989] Day, R. and P. B. Quinn, G. (1989). Comparisons of Treatments After an Analysis of Variance in Ecology. *Ecological Monographs*, 59 :433-463.
- [Deffuant et al., 2015] Deffuant, G., Banos, A., Chavalarias, D., Bertelle, C., Brodu, N., Jensen, P., Lesne, A., Müller, J.-P., Perrier, d., and Varenne, F. (2015). Visions de la complexité. Le démon de Laplace dans tous ses états. *Natures Sciences Sociétés*, 23(1) :42-53.
- [Delay, 2015] Delay, E. (2015). *Réflexions géographiques sur l'usage des systèmes multi agents dans la compréhension des processus d'évolution des territoires viticoles de fortes pentes : le cas de la Côte Vermeille et du Val di Cembra.* Limoges.
- [Deler et al., 1994] Deler, J. P., Bataillon, C., and Théry, H. (1994). *Géographie universelle.* Belin / Reclus.
- [Deleuze, 1976] Deleuze (1976). *Rhizome : introduction.* Minuit, Paris.
- [Deleuze, 1968] Deleuze, G. (1968). *Spinoza et le problème de l'expression.* Gallimard, Paris.

- [Derrida, 1967] Derrida, J. (1967). La structure, le signe et le jeu dans le discours des sciences humaines. In *L'écriture et la différence*, pages 409–429. Editions du Seuil, Paris.
- [Descartes, 1637] Descartes, R. (1637). *Discours de la méthode*. Flammarion.
- [Desmoulière, 2015] Desmoulière, R. (2015). De la planification aux pratiques des réseaux de transport public routier à Jakarta (Indonésie). In *20ème Journée doctorale en transport Eric Tabourin, AFITL*, Marne la Vallée.
- [Desmoulière, 2016] Desmoulière, R. (2016). Réguler les transports artisanaux dans l'agglomération jakartaise : pourquoi, pour qui ?
- [Detienne, 2009] Detienne, M. (2009). *Comparer l'incomparable*. Points, Paris.
- [Diaz Olvera et al., 2010] Diaz Olvera, L., Plat, D., Pochet, P., and Sahabana, M. (2010). Entre contraintes et innovation : évolutions de la mobilité quotidienne dans les villes d'Afrique subsaharienne. *Espace populations sociétés. Space populations societies*, (2010/2-3) :337–348.
- [Diridollou et al., 2017] Diridollou, C., Delecolle, T., Loussaïef, L., and Delchet-Cochet, K. (2017). Légitimité des business models disruptifs : le cas Uber, Legitimacy of disruptive business models : the Uber case. *La Revue des Sciences de Gestion*, (281-282) :11–21.
- [Donnadieu and Karsky, 2002] Donnadieu, G. and Karsky, M. (2002). *La systémique, penser et agir dans la complexité*. Editions Liaisons, Paris.
- [Dooren and Walle, 2008] Dooren, W. V. and Walle, S. V. d. (2008). La réalité est simplement une illusion, quoique très persistante. Introduction au numéro spécial sur la mesure de la performance. *Revue Internationale des Sciences Administratives*, 74(4) :559–562.
- [Dorier-Apprill and Domingo, 2004] Dorier-Apprill, I. and Domingo, t. (2004). Les nouvelles échelles de l'urbain en Afrique. *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, no 81(1) :41–54.
- [Dorier-Apprill et al., 1998] Dorier-Apprill, I., Kouvouama, A., and Apprill, C. (1998). *Vivre à Brazzaville : modernité et crise au quotidien*. KARTHALA Editions.
- [Douay and Roy-Baillargeon, 2015] Douay, N. and Roy-Baillargeon, O. (2015). Le Transit-Oriented Development (TOD), vecteur ou mirage des transformations de la planification et de la gouvernance métropolitaines du Grand Montréal ? *Flux*, (101-102) :29–41.
- [Dougueli, 2016] Dougueli, G. (2016). Motos-taxis : asphalt jungle. *Jeune Afrique*, page 1.
- [Driant, 1989] Driant, J.-C. (1989). *Consolidation et reproduction des quartiers populaires : le cas des barriadas de Lima (Pérou)*. Université Paris-Est Créteil Val de Marne (UPEC).

- [Dubresson, 1989] Dubresson, A. (1989). *Villes et Industries de Côte-d'Ivoire*. Karthala, Paris.
- [Dubresson and Raison, 1998] Dubresson, A. and Raison, J.-P. (1998). *L'Afrique subsaharienne ; une géographie du changement*. Collection U. Armand Colin, Paris.
- [Dufour, 2007] Dufour, F. (2007). Dire « le Sud » : quand l'autre catégorise le monde. *Autrepart*, (41) :27–39.
- [Dumolard et al., 2003] Dumolard, P., Dubus, N., and Charleux, L. (2003). *Les statistiques en géographie*. Belin.
- [Dumouchel, 1983] Dumouchel, P. (1983). *L'Auto-organisation : de la physique au politique*. Éditions du Seuil, Paris.
- [Duncan and Brant, 1983] Duncan, D. and Brant, L. (1983). Adaptive t tests for multiple comparisons. *Biometrics*, (39) :793–794.
- [Dupuy, 1975] Dupuy, G. (1975). *Une Technique de planification au service de l'automobile, les modèles de trafic urbain*. Ministère de l'équipement, Paris. OCLC : 461629865.
- [Dupuy, 1991] Dupuy, G. (1991). *L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes*. Armand Colin.
- [Dupuy, 1999] Dupuy, G. (1999). *La dépendance automobile*. Economica, Paris.
- [Dupuy, 1998] Dupuy, J. P. (1998). *Introduction aux sciences sociales. Logiques des phénomènes collectifs*. Paris, ellipse edition.
- [Dupuy, 2004] Dupuy, J.-P. (2004). Vers l'unité des sciences sociales autour de l'individualisme méthodologique complexe. *Revue du MAUSS*, 24(2) :310.
- [Durand-Dastès, 1992] Durand-Dastès, F. (1992). Les modèles en géographie. In *Bailly & al., 1992, Encyclopédie de Géographie*, pages 311–325. Economica, Paris.
- [Durand-Dastès, 2001] Durand-Dastès, F. (2001). Le temps, la géographie et ses modèles. *Bulletin de la société géographique de Liège*, 40(1) :5–13.
- [Durand-Dastès and Mutin, 1999] Durand-Dastès, F. and Mutin, G. (1999). *Afrique du Nord, Moyen-Orient, Monde indien*. Belin, Paris, belin - reclus edition.
- [Dureau, 2000] Dureau, F., editor (2000). *Métropoles en mouvement : une comparaison internationale*. Paris : Anthropos, Institut de recherche pour le développement., Paris. OCLC : 300934684.
- [Dureau and Lévy, 2007] Dureau, F. and Lévy, J.-P. (2007). Villes et mobilités au Nord et au Sud : la construction d'une problématique commune. *Autrepart*, n 41(1) :135–148.

- [Edensor and Jayne, 2012] Edensor, T. and Jayne, M. (2012). *Urban theory beyond the west*. Routledge, New York.
- [Edmonds and Moss, 2004] Edmonds, B. and Moss, S. (2004). From KISS to KIDS – An ‘Anti-simplistic’ Modelling Approach. In Davidsson, P., Logan, B., and Takadama, K., editors, *Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation*, number 3415 in Lecture Notes in Computer Science, pages 130–144. Springer Berlin Heidelberg.
- [Egmont et al., 2003] Egmont, P. v., Nijkamp, P., and Vindigni, G. (2003). Analyse comparative des performances des systèmes de transports collectifs urbains en Europe. *Revue internationale des sciences sociales*, (176) :261–275.
- [Epstein, 2008] Epstein, J. (2008). Why Model? *Journal of artificial societies and social simulation*, 11(4) :12.
- [Epstein, 2006] Epstein, J. M. (2006). *Generative Social Science : Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton University Press, Princeton.
- [Faliès and Montoya, 2010] Faliès, C. and Montoya, C. (2010). Gouvernance et planification de deux périphéries multifonctionnelles. *EchoGéo*, (11).
- [Fall et al., 2015] Fall, B., Phaf-Rheinberger, I., and Eckert, A. (2015). *Travail et culture dans un monde globalisé : De l’Afrique à l’Amérique latine*. Humboldt-Universität zu Berlin.
- [Favreau, 2004] Favreau, L. (2004). *Qu’est-ce que l’économie informelle, l’économie populaire et l’économie sociale et solidaire ?* Observatoire en économie sociale de l’Outaouais, Québec.
- [Ferber, 1997] Ferber, J. (1997). *LES SYSTEMES MULTI-AGENTS. Vers une intelligence collective*. Dunod, Paris.
- [Ferguson, 1767] Ferguson, A. (1767). *Essai sur la société civile*. Paris, puf edition.
- [Ferras, 1993] Ferras, R. (1993). *Les modèles graphiques en géographie*. Economica.
- [Feudjio, 2015] Feudjio, Y. B. D. (2015). Les jeunes benskineurs au Cameroun : entre stratégie de survie et violence de l’État. *Autrepart*, N 71(3) :97–117.
- [Figuroa, 1991] Figuroa, O. (1991). *Les politiques de transport en commun dans les villes d’amerique latine*. Paris 12.
- [Figuroa, 2005] Figuroa, O. (2005). *Four decades of changing transport policy in Santiago, Chile*. Research in Transport Economics, Santiago.
- [Foerster, 2002] Foerster, H. V. (2002). *Understanding Understanding : Essays on Cybernetics and Cognition*. Springer, New York, 2003 edition edition.

- [Fournier, 2013] Fournier, J. (2013). *Economie des besoins*. Odile Jacob, 1 édition.
- [Féré, 2013] Féré, C. (2013). Vers un droit au transport ciblé et un droit à la mobilité conditionnel. L'évolution de la prise en compte des inégalités de mobilité dans les politiques urbaines, Towards a targeted right to transport and a conditional right to mobility : an evolution in the inclusion of mobility inequalities in urban policies. *Flux*, (91) :9–20.
- [Frankhauser, 1997] Frankhauser, P. (1997). L'approche fractale. Un nouvel outil de réflexion dans l'analyse spatiale des agglomérations urbaines. *Population*, 52(4) :1005–1040.
- [Freund and Lootvoet, 2012] Freund, B. and Lootvoet, B. (2012). Où le partenariat public-privé devient l'instrument privilégié du développement économique local. L'exemple de Durban, Afrique du sud. *Revue Tiers Monde*, (181) :45–70.
- [Frémont, 1999] Frémont, A. (1999). *La région, espace vécu*. Flammarion.
- [Frérot, 1999] Frérot, A.-M. d. (1999). *Les grandes villes d'Afrique*. Ellipses, Paris.
- [Fusco, 2004] Fusco, G. (2004). La mobilité quotidienne dans les grandes villes du monde : application de la théorie des réseaux bayésiens. *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Gandillac and Quillet, 2017] Gandillac, M. and Quillet, J. (2017). OCKHAM GUILLAUME D' (1290 env.-env. 1349).
- [Garcia and Sterman, 2006] Garcia, J. M. and Sterman, J. (2006). *System Dynamics. Theory and Exercises*. Barcelona.
- [George, 1997] George, C. (1997). L'abduction et l'explication. In *Polymorphisme du raisonnement humain*, pages 113–128. Presses Universitaires de France, Paris.
- [Gil-Beuf, 2007] Gil-Beuf, A. (2007). Ville durable et transport collectif : le Transmilenio à Bogotá. *Annales de géographie*, 657 :533.
- [Giraud, 2010] Giraud, P.-N. (2010). *Energy and Urban Innovation*. Conseil mondial de l'Energie, Londres.
- [Gisclard et al., 2016] Gisclard, M., Lysaniuk, B., and Mesclier, v. (2016). Le territoire, solution limitée aux problèmes de développement ? *L'Espace géographique*, Tome 44(3) :193–197.
- [Godard, 1985] Godard, X. (1985). Quel modèle de transports collectifs pour les villes d'Afrique subsaharienne ? Cas de Brazzaville et Kinshasa. *Politique Africaine*, (17) :41–57.
- [Godard, 1990] Godard, X. (1990). Concurrence ou réglementation ? In *Transports urbains dans les pays en développement : nouvelles perceptions, nouvelles politiques*, Jakarta, juin 1988. Paradigme.

- [Godard, 1994] Godard, X. (1994). *Les transports dans les villes du Sud. La recherche de solutions durables*. Economie et développement. Karthala, Paris.
- [Godard, 2001] Godard, X. (2001). Difficultés d'adaptation des approches du transport urbain pour les villes en développement. Analyse critique d'études des bureaux internationaux à Dakar. *Les cahiers scientifiques du transport*, (39) :15–41.
- [Godard, 2002] Godard, X. (2002). *Les transports et la ville en Afrique au sud du Sahara : le temps de la débrouille et du désordre inventif*. KARTHALA Editions.
- [Godard, 2008] Godard, X. (2008). Transport artisanal, esquisse de bilan pour la mobilité durable. page 10, Hô Chi Minh Ville.
- [Godard, 2009] Godard, X. (2009). Variété des systèmes de mobilité urbaine face aux enjeux de développement et d'environnement. In *Actes*, pages pp. 131–142, Ghardaïa, Algérie. ENP édition.
- [Goldstein and Lemoine, 2014] Goldstein, A. and Lemoine, F. (2014). V. Les BRIC dans les investissements internationaux. *Repères*, pages 73–87.
- [Golub et al., 2009] Golub, A., Balassiano, R., Araújo, A., and Ferreira, E. (2009). Regulation of the informal transport sector in Rio de Janeiro, Brazil : welfare impacts and policy analysis. *Transportation*, 36(5) :601–616.
- [Gonzales et al., 2011] Gonzales, E., Del Pozo, J. M., and Del Solar, V. (2011). Lima metropolitana después de las reformas neoliberales : transformaciones económicas y urbanas. In *Lima_Santiago. Reestructuración y cambio metropolitano*. Carlos de Mattos. Wiley Ludeña. Facultad de arquitectura de chile y Facultad de arquitectura y urbanismo del Perú, Santiago de Chile.
- [Géopoint, 1984] Géopoint (1984). *Géopoint 84 : systèmes et localisations*. Faculté des lettres et sciences humaines, Avignon, France.
- [Gourou, 1982] Gourou, P. (1982). *Terres de bonne espérance, le monde tropical*. Plon, Paris.
- [Gouëset et al., 2014] Gouëset, V., Demoraes, F., Figueroa, O., Le Roux, G., and Zioni, S. (2014). Parcourir la métropole. Pratiques de mobilité quotidienne et inégalités socio-territoriales à Bogotá, Santiago et São Paulo. In *Mobilités et changement urbain à Bogotá, Santiago et São Paulo*, coll. Espaces et Territoires, pages Chapitre 8 – pp. 265–302. Presses Universitaires de Rennes. Ce chapitre a été coordonné par Vincent Gouëset.
- [Graeff, 2009] Graeff, J. (2009). *The organization and future of the matatu industry in Nairobi, Kenya*. PhD thesis, Columbia, New York.

- [Grataloup, 1996] Grataloup, C. (1996). *Lieux d'histoire : essai de géohistoire systématique*. GIP RECLUS.
- [Grignon, 1997] Grignon, F. (1997). Les pierrots du bidonville. Peintres de matatu à Nairobi, Kenya. *Autrepart*, 1 :151–160.
- [Grimm et al., 2006] Grimm, V., Berger, U., and Bastiansen, F. (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, (198) :115–126.
- [Grimm et al., 2010] Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D., Polhill, G., Giske, J., and Railsback, S. (2010). The ODD protocol : A review and first update. *Ecological Modelling*, (221) :2760–2768.
- [Gudmundsson, 2003] Gudmundsson, H. (2003). Donner du sens aux concepts. La mobilité durable et les systèmes d'indicateurs dans le domaine de la politique des transports. *Revue internationale des sciences sociales*, (176) :221–242.
- [Guerrien, 2002] Guerrien, B. (2002). *La théorie des jeux*. Economica, Paris.
- [Guillerm and Bourdet, 1975] Guillerm, A. and Bourdet, Y. (1975). *L'autogestion*. Seghers, Paris.
- [Gumuchian et al., 2000] Gumuchian, H., Marois, C., and Fèvre, V. (2000). *Initiation à la recherche en géographie : aménagement, développement territorial, environnement*. PUM.
- [Guézéré, 2012] Guézéré, A. (2012). Territoires des taxis-motos à Lomé : de la pratique quotidienne à la recomposition des espaces urbains et des liens sociaux. *Géographie, économie, société*, 14(1) :53–72.
- [Guézéré, 2013] Guézéré, A. (2013). Deux roues motorisées et étalement urbain à Lomé, quel lien avec la théorie des « trois âges » de la ville ? *Noroi*, (226) :41–62.
- [Gwilliam, 2002] Gwilliam, K. (2002). *Cities on the Move. A world Bank Urban Transport Strategy Reveiw*. Worl Bank Publications, New York.
- [Hackworth, 2006] Hackworth, J. (2006). *The Neoliberal City : Governance, Ideology, and Development in American Urbanism*. Cornell University Press, Ithaca, 1 edition edition.
- [Haggett, 1965] Haggett, P. (1965). *Locational Analysis in Human Geography*. Edw Arnold Ltd, London.
- [Hancock, 2007] Hancock, C. (2007). « Délivrez-nous de l'exotisme » : quelques réflexions sur des impensés de la recherche géographique sur les Suds (et les Nord). *Autrepart*, (41) :69–81.

- [Hart, 1973] Hart, K. (1973). Informal Income Opportunities and Urban Employment in Ghana. *The Journal of Modern African Studies*, 11(1) :61–89.
- [Harvey, 2007] Harvey, D. (2007). *A Brief History of Neoliberalism*. Oxford University Press.
- [Haumont, 2000] Haumont, A. (2000). Les métropoles des pays développés dans la « transition urbaine ». In *Métropoles en Mouvement. Une comparaison internationale.*, Villes, pages 31–47. Paris, anthropos - ird edition.
- [Hayek, 1960] Hayek, F. (1960). *La constitution de la liberté*. Litec edition.
- [Henry, 2002] Henry, t. (2002). La concentration régulée des entreprises brésiliennes d'autobus urbains. *EH Entreprises et histoire*, 30(2) :73–87. OCLC : 5796125627.
- [Hernández and Witter, 2015] Hernández, D. and Witter, R. (2015). Perceived vs. Actual Distance to Transit in Santiago, Chile. *Journal of Public Transportation*, 18(4).
- [Hägerstrand, 1981] Hägerstrand, T. (1981). *Space and Time in Geography : Essays Dedicated to Torsten Hägerstrand*. CWK Gleerup.
- [Hodges, 2006] Hodges, A. (2006). 'Roping the Wild Jitney' : the jitney bus craze and the rise of urban autobus systems. *Planning Perspectives*, 21(3) :253–276.
- [Holland, 2014] Holland, J. (2014). *Complexity a very short introduction*. Oxford University Press.
- [Holton, 1981] Holton, G. (1981). *L'imagination scientifique*. Gallimard, Paris.
- [Hours and Selim, 2007] Hours, B. and Selim, M. (2007). Production et perte des sens du Sud. *Autrepart*, (41) :41–55.
- [Hugon, 2014] Hugon, P. (2014). L'« informel » ou la petite production marchande revisités quarante ans après. *Mondes en développement*, (166) :17–30.
- [Jacquemot, 2013] Jacquemot, P. (2013). Perspectives économiques pour l'Afrique subsaharienne. Questions et scénarios. *L'Économie politique*, (59) :6–33.
- [Jacquet and Leclercq, 2016] Jacquet, D. and Leclercq, G. (2016). *Uberisation : Un ennemi qui vous veut du bien ?* Dunod.
- [Jaglin, 2012] Jaglin, S. (2012). Services en réseaux et villes africaines : l'universalité par d'autres voies ? *L'Espace géographique*, Tome 41(1) :51–67.
- [JICA and CTLC, 2007] JICA and CTLC (2007). Plan Maestro. Technical report, Lima.
- [Joly et al., 2003] Joly, I., Masson, S., and Petiot, R. (2003). Les déterminants de la part modale des transports en commun dans 100 villes du monde. *Transports*, 420 :220 – 226.

- [Kablan, 2010] Kablan, N. H. J. (2010). L'invasion des véhicules d'occasion en transit par le port d'Abidjan : le dynamisme ambivalent d'une activité en plein essor. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 63(251) :365–390.
- [Kamden, 2014] Kamden, P. (2014). L'intégration des motos-taxis dans le transport public au Cameroun ou l'informel à la remorque de l'État : une solution d'avenir au problème de mobilité et de l'emploi en Afrique subsaharienne. *Colloque International IVM 2007*.
- [Kassi-Djodjo, 2010] Kassi-Djodjo, I. (2010). Rôle des transports populaires dans le processus d'urbanisation à Abidjan. *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 63(251) :391–402.
- [Kauffman, 1995] Kauffman, S. (1995). *At home in the universe : the search for laws of self-organization and complexity*. Oxford University Press, Oxford.
- [Kaufmann, 2002] Kaufmann, V. (2002). *Re-thinking Mobility*. Transport and Society. Avebury.
- [Keutcheu, 2015] Keutcheu, J. (2015). Le « fléau des motos-taxis ». *Cahiers d'études africaines*, (219) :509–534.
- [Khayesi and Nafukho, 2016] Khayesi, M. and Nafukho, F. M. (2016). *Informal Public Transport in Practice : Matatu Entrepreneurship*. Routledge.
- [King, 2015] King, D. (2015). Introduction to special section on paratransit. *Journal of Transport and Land Use*, 8(1) :121–122.
- [King and Goldwyn, 2014] King, D. A. and Goldwyn, E. (2014). Why do regulated jitney services often fail? Evidence from the New York City group ride vehicle project. *Transport Policy*, 35 :186–192.
- [Kirby, 1974] Kirby, R. (1974). *Para-transit Neglected Options for Urban Mobility*. Urban Institute.
- [Kyrou, 2015] Kyrou, A. (2015). L'ubérisation est un populisme. *Multitudes*, (61) :106–113.
- [Lacoste, 1976] Lacoste, Y. (1976). *La géographie, ça sert, d'abord, à faire la guerre*. La Découverte, Paris.
- [Lambrecht, 2017] Lambrecht, M. (2017). L'économie des plateformes collaboratives. *Courrier hebdomadaire du CRISP*, (2311-2312) :5–80.
- [Lammoglia, 2013] Lammoglia, A. (2013). *Analyse et modélisation multi-agents de transports flexibles : Comparaison de services français et sénégalais*. Avignon.

- [Lammoglia et al., 2012] Lammoglia, A., Faye, R. M., and Josselin, D. (2012). Les taxis clandos à Dakar : quel avenir pour ces transports à la demande (TAD). In *CODATU XV*, page 21, Addis Abeba. CODATU.
- [Landa, 2014] Landa, A. W. (2014). *Le transport en commun à Brazzaville : organisation de l'espace et effets socio-économiques*. PhD thesis, Université Marien Ngouabi, Brazzaville.
- [Langlois et al., 2013] Langlois, P., Blanpain, B., and Daudé, E. (2013). MAGéo, une plateforme de simulation multi-agents pour tous. In *SimTools workshop*.
- [Langlois and Reguer, 2005] Langlois, P. and Reguer, D. (2005). La place du modèle et de la modélisation en Sciences Humaines et Sociales. In *Y. Guermond (dir.) Modélisations en Géographie. Déterminismes et Complexités*, IGAT, pages 35–48. Lavoisier, Paris.
- [Laperrière, 2009] Laperrière, V. (2009). *Apport de la modélisation individu-centrée spatialement explicite à la compréhension de L'expression d'une maladie transmissible : la peste bubonique à Madagascar*. phdthesis, Université de Pau et des Pays de l'Adour.
- [Laplace, 1814] Laplace, P. S. (1814). *Essai philosophique sur les probabilités ;*. Mme. Ve. Courcier.
- [Lautier, 2004] Lautier, B. (2004). *L'économie informelle dans le tiers monde*. Repères. La Découverte, Paris.
- [Le Gallou, 1992] Le Gallou, F. (1992). Présentation des concepts de la systémique. Strasbourg. AFSCET.
- [Le Moigne, 1994] Le Moigne, J.-L. (1994). *La théorie du système général : théorie de la modélisation*. jeanlouis le moigne-ae mcx.
- [Le Néchet, 2015] Le Néchet, F. (2015). De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain. *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Le Néchet and Aguiléra, 2012] Le Néchet, F. and Aguiléra, A. (2012). Forme urbaine et mobilité domicile-travail dans treize aires urbaines françaises : une analyse multi-échelle. *Recherche Transports Sécurité*, (28) :259–270.
- [Le Page et al., 2012] Le Page, C., Becu, N., and Bousquet, F. (2012). Participatory Agent-Based Simulation for Renewable Resource Management : The Role of the Cormas Simulation Platform to Nurture a Community of Practice. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 15(1).
- [Le Tellier, 2005] Le Tellier, J. (2005). Les grands taxis : approche du système de transport et de la mobilité au Maroc. *Annales de géographie*, (642) :163–186.

- [Ledgard and Solano, 2011] Ledgard, R. and Solano, A. (2011). Lima transformaciones en la estructura e imagen de la metrópoli : situación actual y perspectivas. In *Lima_Santiago. Reestructuración y cambio metropolitano*, pages 21–40. Facultad de arquitectura de Chile y Facultad de arquitectura y urbanismo del Perú, Santiago de Chile.
- [Lee, 2011] Lee, F. S. (2011). Être ou ne pas être hétérodoxe : réponse argumentée aux détracteurs de l'hétérodoxie. *Revue Française de Socio-Économie*, (8) :123–144.
- [Lefebvre, 1970] Lefebvre, H. (1970). *La vie quotidienne dans le monde moderne*. Gallimard, Paris.
- [Lefort, 2003] Lefort, I. (2003). Références scientifiques et préférences littéraires. Pour un déchiffrement brunetien. *Géocarrefour*, 78(1) :79–88.
- [Leonard, 2000] Leonard, J. (2000). Lima : city profile. *Cities*, 17 :437.
- [Linhart, 2017] Linhart, D. (2017). *La comédie humaine du travail*. Eres.
- [Livet, 1983] Livet, P. (1983). La fascination de l'auto-organisation. In *L'auto-organisation de la physique au politique*. Editions du Seuil, Cerisy La Salle.
- [Lloyd, 2001] Lloyd, S. (2001). Measures of complexity : A nonexhaustive list. *IEEE Control Systems Magazine*, 21(4) :7–8.
- [Loarne-Lemaire and Noël-Lemaître, 2015] Loarne-Lemaire, S. L. and Noël-Lemaître, C. (2015). La coopérative, une organisation favorisant le besoin d'enracinement des salariés, The cooperative, organization for promoting social and geographical rootedness at work. *La Revue des Sciences de Gestion*, (269-270) :93–100.
- [Lombard, 2004] Lombard, J. (2004). Les rues de Dakar : espaces de négociation des transports collectifs. *Autrepart*, n 32(4) :115–134.
- [Lombard, 2006] Lombard, J. (2006). Enjeux privés dans le transport public d'Abidjan et de Dakar. *Géocarrefour*, 81(2) :167–174.
- [Lombard, 2011] Lombard, J. (2011). *Transports d'ici, transports d'ailleurs : Du Sénégal à l'Afrique de l'Ouest*. Habilitation à diriger des recherches, Université du Havre, Le Havre.
- [Lombard and Ninot, 2012] Lombard, J. and Ninot, O. (2012). Des mobilités aux transports. Regards croisés en Afrique de l'Ouest. *EchoGéo*, (20).
- [Lomme, 2004] Lomme, R. (2004). La réforme des transports publics urbains à l'épreuve de l'intégration du secteur informel. *Afrique contemporaine*, 210 :79.
- [Louvét, 2015] Louvét, N. (2015). Usages, usagers et impacts des services de transport avec chauffeur. Enquête, 6T.

- [Ludeña Urquizo, 2010] Ludeña Urquizo, W. (2010). *Lima. Reestructuration economica y transformaciones urbanas. 1990-2005*. Number 13 in Cuadernos. PUCP, Lima.
- [Malville, 1999] Malville, E. (1999). *L'auto-organisation de groupe pour l'allocation de tâches dans les systèmes multi-agents : application à COBRA*. PhD thesis, Université de Savoie.
- [Marchand, 2017] Marchand, Q. (2017). Lima-Callao, un chemin difficile vers la modernisation des transports dans la capitale péruvienne.
- [Martin, 2002] Martin, O. (2002). Mathématiques et sciences sociales au XXème siècle. *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, no 6(1) :3–13.
- [Massot and Orfeuill, 2007] Massot, M.-H. and Orfeuill, J.-P. (2007). La mobilité au quotidien, entre choix individuel et production sociale. *Cahiers internationaux de sociologie*, (118) :81–100.
- [Matouk and Abeille, 1994] Matouk, A. and Abeille, M. (1994). La crise des transports urbains à Alger. La part du cadre institutionnel et réglementaire. In *Les transports dans les villes du Sud. La recherche de solutions durables*, pages 112–127. KARTHALA Editions, Paris.
- [Maturana and Varela, 1980] Maturana, H. R. and Varela, F. J. (1980). *Autopoiesis and Cognition : The Realization of the Living*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- [Maxemchuk, 1987] Maxemchuk, N. (1987). Routing in the Manhattan Street Network. *IEEE Transactions on Communications*, 35(5) :503–512.
- [Mercier, 1988] Mercier, G. (1988). L'utilité sociale de la géographie. *Cahiers de géographie du Québec*, 32(87) :357.
- [Merlin and Fouchier, 1994] Merlin, P. and Fouchier, V. (1994). *Les fortes densités urbaines : une solution pour nos villes ?* Consulat de France, Hong Kong.
- [Mesclier et al., 2011] Mesclier, E., Chaléard, J. L., Huamantincó, A., Montoya, C., and Théodat, M. (2011). Aux frontières de l'agglomération de Lima : les effets incertains de la métropolisation. In *Les métropoles des Suds vues de leurs périphéries*, pages 65–78.
- [Mesclier et al., 2016] Mesclier, v., Piron, M., and Gluski, P. (2016). Territoires et inclusion dans les périphéries de Lima (Pérou) : une démarche exploratoire à partir de données sur le raccordement à l'eau et au tout-à-l'égout. *L'Espace géographique*, Tome 44(3) :273–288.
- [Michel, 2012] Michel, C. (2012). Les asentamientos humanos à Lima : quelles dynamiques d'intégration urbaine ?

- [Michel and Oliveau, 2013] Michel, C. and Oliveau, S. (2013). La vulnérabilité socio-économique à Lima, une étude à travers les asentamientos humanos). Aix en Provence.
- [Mignot et al., 2001] Mignot, D., Rosales-Montano, S., Harzo, C., Cholez, C., Clerget, M.-P., Cusset, J.-M., Olvera, L. D., Deguilhem, Y., Lainez, V., and Paulo, C. (2001). Mobilité et grande pauvreté. *ResearchGate*, (halshs-00110400_v1).
- [Mill, 1843] Mill, J. S. (1843). *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive : Being a Connected View of the Principles of Evidence and the Methods of Scientific Investigation*. John W. Parker.
- [Miller, 2016] Miller, J. (2016). *A Crude Look at the Whole : The Science of Complex Systems in Business, Life, and Society*. Basic Books.
- [Miras and Godard, 2006] Miras, C. d. and Godard, X. (2006). Les firmes concessionnaires de service public au Maroc : Eau potable, assainissement et transports collectifs. *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography*, (106) :113–124.
- [Müller et al., 2013] Müller, B., Bohn, F., Dreßler, G., Groeneveld, J., Klassert, C., Martin, R., Schlüter, M., Schulze, J., Weise, H., and Schwarz, N. (2013). Describing human decisions in agent-based models – ODD + D, an extension of the {ODD} protocol. *Environmental Modelling & Software*, 48 :37 – 48.
- [Mobereola, 2009] Mobereola, D. (2009). Premier bus à haut niveau de service en Afrique. Le BRT-lite de Lagos. Technical Report 9, SSATP, Lagos.
- [Moine, 2006] Moine, A. (2006). Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie. *L'Espace géographique*, Tome 35(2) :115–132.
- [Montezuma, 2003] Montezuma, R. (2003). Ciudad y transporte : la movilidad urbana. In *La ciudad inclusiva*. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- [Montezuma, 2011] Montezuma, R. (2011). La mobilité révolutionnée. Le sud a-t-il son mot à dire? *Altermondes*, (Juin) :50.
- [Moriconi-Ebrard, 1993] Moriconi-Ebrard, F. (1993). *L'urbanisation du monde depuis 1950*. Economica, Paris.
- [Morin, 1977] Morin, E. (1977). *La Méthode La Nature de la nature*. Le Seuil.
- [Morin, 1990] Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. ESF.

- [Morin, 2005] Morin, E. (2005). Complexité restreinte, complexité générale. Cerisy La Salle.
- [Musset, 1997] Musset, A. (1997). De Séville à Lima : villes identiques ou villes en quête d'identité? *Villes en parallèle*, (19) :11 – 30.
- [Nemo, 2002] Nemo, P. (2002). La théorie hayékienne de l'ordre auto-organisé du marché (la "main invisible"). *Cahiers d'économie Politique / Papers in Political Economy*, n 43(2) :47–67.
- [Neumann, 2014] Neumann, A. (2014). *A Paratransit-inspired Evolutionary Process for Public Transit Network Design*. epubli.
- [Offner, 1993] Offner, J.-M. (1993). Les « effets structurants » du transport : mythe politique, mystification scientifique. *Espace géographique*, 22(3) :233–242.
- [Oliveau, 2004] Oliveau, S. (2004). *Modernisation villageoise et distance à la ville en Inde du Sud*. phdthesis, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I.
- [Oliveau, 2011] Oliveau, S. (2011). *L'espace compte! Mesurer les structures spatiales du changement social*. thesis, Université d'Aix-Marseille 1.
- [Olivier de Sardan et al., 2010] Olivier de Sardan, J. P., Abdoukader, A., Diarra, A., Issa, Y., Moussa, H., Oumarou, A., and Tidjani Alou, M. (2010). Gouvernance locale et biens publics au Niger. *Overseas Development Institute*, document de travail no 10 :35.
- [Olstom, 2010] Olstom, E. (2010). *Gouvernance des biens communs : pour une nouvelle approche des ressources naturelles*. De Boeck.
- [Olvera et al., 2002] Olvera, L. D., Plat, D., and Pochet, P. (2002). Mobilité quotidienne et pauvreté. Méthodologie et résultats. Enquête sur la mobilité, le transport et les services urbains à Dakar.
- [Olvera et al., 2005] Olvera, L. D., Plat, D., Pochet, P., and Sahabana, M. (2005). Mobilité et pauvreté en Afrique sub-saharienne : éclairages à partir de quelques enquêtes ménages. *SITRASS. Mobilité et systèmes de transport en Afrique subsaharienne : les défis de la pauvreté – Actes du séminaire SITRASS 7, 22, 23 et 24 mars 2004, Saly Portudal (Sénégal)*, (Partie "atelier 2 : Des usagers démunis") :pp. 278–289.
- [Olvera et al., 2007] Olvera, L. D., Plat, D., Pochet, P., and Sahabana, M. (2007). La diffusion des taxis-motos dans l'Afrique urbaine au sud du sahara. page 17 p. ASRDLF.
- [ONU, 1996] ONU, . (1996). The Habitat Agenda : Istanbul Declaration on Human Settlements. Technical report, United Nations, Istanbul.
- [ONU, 2016] ONU (2016). Habitat III.

- [Oppenheim and Putnam, 1958] Oppenheim, P. and Putnam, H. (1958). Unity of Science as a Working Hypothesis. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 2 :3–36.
- [Orfeuill, 1994] Orfeuill, J. P. (1994). *Je suis l'automobile*. Edition de l'aube edition.
- [Orfeuill, 2004] Orfeuill, J.-P. (2004). *Transports, pauvretés, exclusions : pouvoir bouger pour s'en sortir*. Ed. de l'Aube.
- [Orfeuill, 2011] Orfeuill, J. P. (2011). Dix ans de « droit à la mobilité », et maintenant ?
- [Orfeuill, 2014] Orfeuill, J.-P. (2014). Quelles villes et quelles mobilités au service des dynamiques productives contemporaines ? *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, (75) :40–45.
- [Orfeuill, 2015] Orfeuill, J.-P. (2015). Vers des transports amoureux du climat ? *Revue Projet*, (344) :27–36.
- [Pacheco and Henri, 1994] Pacheco, R. and Henri, E. (1994). Relations de pouvoirs entre entreprises d'autobus et tutelle. Réflexions à partir du cas du Brésil. In *Les transports dans les villes du Sud. Recherches de solutions durables*. Karthala, Paris.
- [Palma, 2002] Palma, R. (2002). *Traditions péruviennes*. Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux.
- [Paquette, 2010] Paquette, C. (2010). Mobilité quotidienne et accès à la ville des ménages périurbains dans l'agglomération de Mexico. Une lecture des liens entre pauvreté et mobilité. *Tiers Monde*, 201 :157.
- [Partners, 1981] Partners, J. M. a. (1981). The Minibuses and the Public Transport System of Kuala Lumpur. Technical report, Transport and Road Research Laboratory.
- [Passalacqua, 2017] Passalacqua, A. (2017). Artisanal, institutionnel, informel ? Les transports publics parisiens à l'aune des concepts centraux du transport artisanal (XIX e -XX e siècles).
- [Peirce and Deledalle, 2014] Peirce, C. S. and Deledalle, G. (2014). *À la recherche d'une méthode (1893)*. Presses universitaires de Perpignan.
- [Pelletier, 2009] Pelletier, P. (2009). *Elisee reclus, géographie et anarchie*. Monde Libertaire, Paris : Saint-Georges-d'Oléron.
- [Pelletier, 2013] Pelletier, P. (2013). *Géographie et anarchie. Reclus, Kropotkine, Metchnikoff*. MONDE LIBERTAIRE Editions, Paris.
- [Perez, 2009] Perez, J. (2009). Systèmes de transport en commun et auto-organisation à Brazzaville. Master's thesis, Aix Marseille Université, Aix en Provence.

- [Perez, 2010] Perez, J. (2010). Systèmes de transports effectifs à Brazzaville : de l'enquête de terrain à une géovisualisation dynamique. Technical report, Université de Provence, Aix.
- [Pineda, 2014] Pineda, R. C. (2014). Santiago : un modèle contesté de fabrication néolibérale de la ville. *Problèmes d'Amérique latine*, (90) :57–76.
- [Piron et al., 2015] Piron, M., Mesclier, v., and Lortic, B. (2015). Expansion de l'agglomération de Lima et différenciation de l'espace résidentiel : analyse exploratoire d'un corpus de données diversifié. *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Plat and Pochet, 2002] Plat, D. and Pochet, P. (2002). D comme Dar es Salam ou les dangers du désengagement public. In *Les transports et la ville en Afrique au sud du Sahara*, pages 74–82. Karthala- INRETS.
- [Plat et al., 2016] Plat, D., Pochet, P., and Diaz Olvera, L. (2016). Les transports artisanaux dans la mobilité quotidienne à Dakar.
- [Polhill et al., 2008] Polhill, J. G., Parker, D., Brown, D., and Grimm, V. (2008). Using the ODD Protocol for Describing Three Agent-Based Social Simulation Models of Land-Use Change. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11(2) :3.
- [Popper, 1998] Popper, K. R. (1998). *La connaissance objective : une approche évolutionniste*. Flammarion.
- [Portes, 1972] Portes, A. (1972). Rationality in the Slum : An Essay on Interpretive Sociology. *Comparative Studies in Society and History*, 14(03) :268.
- [Postel et al., 2009] Postel, N., Sobel, R., Labrousse, A., and Lamarche, T. (2009). Vers une association d'économie politique hétérodoxe ?Entretien avec Nicolas Postel et Richard Sobel. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, (5).
- [Pouyanne, 2010] Pouyanne, G. (2010). Note de recherche. Une estimation du lien entre forme urbaine et choix modal. Le cas de six aires urbaines françaises. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, octobre(3) :521–541.
- [Prigogine and Stengers, 1986] Prigogine, I. and Stengers, I. (1986). *La nouvelle alliance : métamorphose de la science*. Gallimard.
- [Proulx, 2003] Proulx, S. (2003). Heinz von Foerster (1911-2002). Le père de la seconde cybernétique. *Hermès*, (37).
- [Pumain, 2001] Pumain, D. (2001). Villes, agents et acteurs en géographie. *Revue européenne des sciences sociales*, (XXXIX-121) :81–93. Véronica Nosedá et Jean-Bernard Racine ont relaté l'itinéraire de recherche de géographes qui accordent un intérêt croissant à l'acteur,

illustrant l'une des démarches qui justifient les conclusions de Jean-Pierre Gaudin quant à un probable « retour de l'acteur » dans les sciences sociales contemporaines. D'autres géographes, qui situent leurs travaux dans une problématique systémique, continuent cependant d'explorer d'autres voies, plus proches de la recherche de « structures objectives » et ...

- [Pumain, 2007] Pumain, D. (2007). Une approche de la complexité en géographie. *Géocarrefour*, 78(1) :25–31. Porter témoignage des influences philosophiques ou idéologiques en géographie, à partir de sa propre expérience, n'offre pas la meilleure garantie de l'objectivité scientifique ! Décevoir Popper n'implique pas davantage de satisfaire les tenants d'une posture postmoderne, car, comme dit le proverbe russe : « le pire témoin est celui qui était là ». La proposition de la revue *Géocarrefour* et de François Durand-Dastès, tendant à une clarification des positions des géographes dans l'univers des ...
- [Pumain and Robic, 2002] Pumain, D. and Robic, M.-C. (2002). Le rôle des mathématiques dans une « révolution » théorique et quantitative : la géographie française depuis les années 1970. *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 6(1) :123.
- [Pumain and Saint-Julien, 1990] Pumain, D. and Saint-Julien, T. (1990). *Migrations et changements dans le système urbain français : 1975-1982*. Paris, France.
- [Pumain and Sanders, 2013] Pumain, D. and Sanders, L. (2013). Theoretical Principles in Interurban Simulation Models : A Comparison. *Environment and Planning A*, 45(9) :2243–2260.
- [Pumain et al., 1989] Pumain, D., Sanders, L., and Saint Julien, T. (1989). *Villes et auto-organisation*. Économica, Paris.
- [Quetelet, 1835] Quetelet, A. -. (1835). *Sur l'homme et le développement de ses facultés, ou Essai de physique sociale. Tome 1 / par A. Quételet,...*
- [Quispe Conejo, 2007] Quispe Conejo, S. (2007). Geografía del transporte vial en Lima Metropolitana y su impacto ambiental territorial. *Investigaciones sociales*, (19).
- [Racine and Reymond, 1973] Racine, J.-B. and Reymond, H. (1973). *L'analyse quantitative en géographie*. PUF, Paris.
- [Raison, 2007] Raison, J.-P. (2007). Nommer, c'est créer un peu. *Autrepart*, (41) :57–68.
- [Rebotier, 2016] Rebotier, J. (2016). L'État et l'informalité en Amérique latine : virage à gauche. *Changement de cap ? Lien social et Politiques*, (76) :24.
- [Reclus, 1886] Reclus, E. (1886). *Nouvelle géographie universelle : la terre et les hommes*. Hachette et cie.

- [Renaut et al., 2006] Renaut, A., Billier, J.-C., Savidan, P., and Thiaw-Po-Une, L. (2006). *La Philosophie*. Editions Odile Jacob, Paris.
- [Renouard, 2007] Renouard, C. (2007). Economie sociale. *Études*, Tome 407(10) :309–318.
- [Reymond, 2009] Reymond, H. (2009). L'intérêt géographique de la logique de S. Lupasco et de la théorie de la néoténie : proposition d'un crible transdisciplinaire pour l'étude de la résilience des géosystèmes urbains. *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Rimmer, 1984] Rimmer, P. J. (1984). THE ROLE OF PARATRANSIT IN SOUTHEAST ASIAN CITIES¹. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 5(1) :45–62.
- [Rizzo, 2017] Rizzo, M. (2017). *Taken for a Ride : Grounding Neoliberalism, Precarious Labour, and Public Transport in an African Metropolis*. Oxford University Press.
- [Robert, 2013] Robert, J. (2013). Crises passées, crises à venir : un regard sur la ville de Lima : Urbanités. *Urbanité*, (2) :9.
- [Robert and Metzger, 2016] Robert, J. and Metzger, P. (2016). Les coulisses du pouvoir local : stratégies d'autonomie et pratiques informelles dans la municipalité du Rímac (Lima). *L'Espace Politique. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique*, (29).
- [Robert, 2015] Robert, M. (2015). *Transports publics urbains : Textes sur la gratuité*. Lulu.com.
- [Robert et al., 2010] Robert, P., Rey-Debove, J., and Rey, A. (2010). *Le petit Robert : dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Dictionnaires Le Robert.
- [Rosenbloom, 1982] Rosenbloom, S. (1982). The planner's role in private transportation efforts. *Transportation*, 11(2) :101–103.
- [Rosnay, 1975] Rosnay, J. d. (1975). *Le microscope vers une vision globale*. Éditions du Seuil.
- [Roten, 2015] Roten, Y. d. (2015). Abduction. *Psychothérapies*, 35(3) :149–150.
- [Saidou and Motcho, 2012] Saidou, H. Y. and Motcho, K. H. (2012). Grandeur et décadence des taxis suburbains Talladjé-talladjé de la ville de Niamey. *Revue électronique des sciences humaines et sociales*.
- [Salazar Bondy, 1964] Salazar Bondy, S. (1964). *Lima la horrible*. Calambur Editorial, Lima.
- [Salazar Ferro, 2014] Salazar Ferro, P. (2014). Le transport collectif artisanal : une composante essentielle dans un système dual. Technical report, CODATU - AFD.

- [Salazar Ferro, 2015] Salazar Ferro, P. (2015). The challenge of finding a role for paratransit services in the global south. In *Energy, climate and air quality challenges : the role of urban transport policies in developing countries*, page 18, Istanbul. CODATU.
- [Salazar Ferro and Abd Alla, 2016] Salazar Ferro, P. and Abd Alla, S. (2016). [Compte-Rendu] Journée d'Etudes – « Transport Artisanal et mobilités urbaines : Espaces et enjeux contemporains » | CODATU : Agir pour une mobilité soutenable dans les villes en développement.
- [Salazar Ferro and Behrens, 2013] Salazar Ferro, P. and Behrens, R. (2013). Paratransit and formal public transport operational complementarity : imperatives, alternatives and dilemmas. In *WCTR*, page 21, Rio de Janeiro. WCTR.
- [Sanders, 1992] Sanders, L. (1992). *Systèmes de villes et synergie*. Anthropos, Paris.
- [Sanders, 1999] Sanders, L. (1999). Modelling within a self-organising or a microsimulation framework : opposite or complementary approaches ? *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Sanders, 2014] Sanders, L. (2014). Trois décennies de modélisation des systèmes de villes : sources d'inspiration, concepts, formalisations. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, décembre(5) :833–856.
- [Santos, 1975] Santos, M. (1975). *L'Espace partagé : les deux circuits de l'économie urbaine des pays sous-développés*. M.-Th. Génin.
- [Sarraut, 1923] Sarraut, A. (1923). La mise en valeur des colonies françaises. *Annales de Géographie*, 32(177) :265–271.
- [Sauvy, 1952] Sauvy, A. (1952). Trois mondes, une planète. *L'Observateur politique, économique et littéraire*, (118).
- [Schor, 2016] Schor, J. (2016). Debating the sharing economy. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 4(3) :7–22.
- [Servais et al., 2004] Servais, M., Thomas, I., Van Dyck, H., and Verhetsel, A. (2004). Polycentrisme urbain : une réalité spatialement mesurable ? *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Shadi and Brouwer, 2011] Shadi, J. W. and Brouwer, C. D. (2011). Type d'emploi et santé au travail dans le transport urbain collectif de la ville de Kinshasa. *Santé Publique*, 22(6) :647–656.

- [Sheeren et al., 2014] Sheeren, D., Becu, N., Amalric, M., Banos, A., Corson, N., and Mairilleau, N. (2014). *Recueil de fiches pédagogiques du réseau MAPS*. Ecole Thématique, France.
- [Sierra, 2016] Sierra, A. (2016). Définir les confins urbains par l’informalité politique : les arrangements citadins entre conflits municipaux et production de territoires indéterminés à Lima (Pérou). *L’Espace Politique. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique*, (29).
- [Simon, 1996] Simon, H. A. (1996). *The Sciences of the Artificial*. MIT Press.
- [Smith and Diatkine, 1764] Smith, A. and Diatkine, D. (1764). *La Richesse des nations. Tome IV*. Flammarion, Paris.
- [Sánchez León et al., 1978] Sánchez León, A., Caldéron, J., and Guerrero, R. (1978). *Paradéro final. El transporte público en Lima metropolitana*. Technical report, DESCO, Lima.
- [Soni-Benga, 1998] Soni-Benga, P. (1998). *Les dessous de la guerre du Congo-Brazzaville*. Harmattan.
- [Sorre, 1933] Sorre, M. (1933). Complexes pathogènes et géographie médicale. *Annales de Géographie*, 42(235) :1–18.
- [Soto and Ghibellini, 1994] Soto, H. d. and Ghibellini, M. (1994). *L’autre sentier : la révolution informelle dans le tiers monde*. Éd. la Découverte.
- [Soufron, 2015] Soufron, J.-B. (2015). Uber et les taxis : qui doit s’adapter ? *Esprit*, Août-septembre(8) :204–208.
- [Steck, 2006] Steck, J.-F. (2006). Qu’est-ce que la transition urbaine ? Croissance urbaine, croissance des villes, croissance des besoins à travers l’exemple africain. *Revue d’économie financière*, 86(5) :267–283.
- [Steck, 2008] Steck, J.-F. (2008). La rue africaine, territoire de l’informel ? *Flux*, (66-67) :73–86.
- [Stiles, 2013] Stiles, W. B. (2013). L’utilisation des études de cas pour l’élaboration de la théorie en psychothérapie, Using Case Studies to build theories of psychotherapy. *Psychothérapies*, 33(1) :29–35.
- [Sundar, 2015] Sundar, S. (2015). Transport Externalities as related to Energy and Environment. In *CODATU XVI*, Istanbul.

- [Surowiec and Minvielle, 2002] Surowiec, C. and Minvielle, E. (2002). couverture des aires urbaines par les périmètres de transports urbains : le cas de 29 aires urbaines. *Notes de synthèse du SES*, (141) :25–30.
- [Taaffe et al., 1963] Taaffe, E. J., Morrill, R. L., and Gould, P. R. (1963). Transport Expansion in Underdeveloped Countries : A Comparative Analysis. *Geographical Review*, 53(4) :503–529.
- [Taillandier, 2015] Taillandier, P. (2015). La modélisation du temps dans la simulation à base d’agents. *L’Information géographique*, 79(2) :65–78.
- [Taillandier et al., 2014] Taillandier, P., Grignard, A., Gaudou, B., and Drogoul, A. (2014). Des données géographiques à la simulation à base d’agents : application de la plate-forme GAMA. *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Tastevin, 2012] Tastevin, Y. (2012). *Autorickshaw : émergence et recompositions d’une filière entre l’Inde, l’Égypte et le Congo*. Paris 10.
- [Tellier, 2010] Tellier, J. L. (2010). Les grands taxis : approche du système de transport et de la mobilité au Maroc, Collective taxis : study of a transportation system in Morocco Abstract. *Annales de géographie*, (642) :163–186.
- [TLFi, 2002] TLFi (2002). *Trésor de la langue française informatisé*. CNRS, Université de Lorraine.
- [Torre, 2015] Torre, A. (2015). Théorie du développement territorial, Territorial development theory. *Géographie, économie, société*, 17(3) :273–288.
- [Tovar, 2017] Tovar, I. (2017). 11. L’économie sociale et solidaire : le renouveau d’un idéal ? *Regards croisés sur l’économie*, (19) :160–172.
- [Tran et al., 2014] Tran, D.-B., Piombini, A., Ignatowicz, M., Moreno, D., Frigui, R., Aguiléra, A., and Badariotti, D. (2014). Morphologie urbaine et mobilité dans la Communauté Urbaine de Strasbourg. *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Valade, 2012] Valade, B. (2012). *De l’explication dans les sciences sociales : holisme et individualisme*. Presses Universitaires de France.
- [Vega Centano and Lafosse, 2013] Vega Centano, P. and Lafosse, S. (2013). La densification récente de Lima et ses défis en matière de logement et de transport. *Problèmes d’Amérique latine*, 3(90) :39–56.
- [Vega Centeno et al., 2011] Vega Centeno, P., Dextre, J. C., and Alegre, M. (2011). Inequidad y fragmentación : movilidad y sistemas de transporte en Lima metropolitana. In

- Lima_Santiago. Restructuraciòn y cambio metropolitano. Carlos de Mattos. Wiley Ludeña. Facultad de arquitectura de chile y Faculatd de arquitectura y urbanismo del Perù, Santiago de Chile.*
- [Velut and Albrecht, 2005] Velut, S. and Albrecht, D. (2005). *L'Amérique latine*. CNED-SEDES.
- [Vergès, 2017] Vergès, E. (2017). Ubérisation de la société ? Replaçons le politique au coeur de nos usages numériques ! *Nectart*, (4) :136–142.
- [Vijver, 2004] Vijver, G. V. D. (2004). Auto-organisation, autonomie, identité : Introduction. *Revue internationale de philosophie*, n 228(2) :129–133.
- [Villarreal, 2008] Villarreal, A. (2008). Enseignements de l'expérience de Monterrey (Mexique) : de l'artisanat aux entreprises. In *Le transport artisanal dans les villes méditerranéennes*. INRETS, Aix en Provence.
- [Von Neuman and Morgenstern, 1944] Von Neuman, J. and Morgenstern, O. (1944). *Théorie des jeux et comportement économique*. Princeton, princeton university press edition.
- [Walker, 2008] Walker, C. F. (2008). *Shaky Colonialism : The 1746 Earthquake-Tsunami in Lima, Peru, and Its Long Aftermath*. Duke University Press Books.
- [Weaver, 1948] Weaver, W. (1948). Science and complexity. *American Scientist*, 36(4) :536–544.
- [Weber et al., 1993] Weber, E. U., Böckenholt, U., Hilton, D. J., and Wallace, B. (1993). Determinants of diagnostic hypothesis generation : effects of information, base rates, and experience. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 19(5) :1151–1164.
- [West, 2017] West, G. (2017). *Scale The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies*. Penguin Press.
- [Wester, 2014] Wester, L. (2014). Personal mobility and self-organized transport systems in major cities of southern countries : a solution to survive ?
- [Wester, 2017] Wester, L. (2017). Matatu : le transport artisanal devient-il tendance ?
- [Wiel, 1999] Wiel, M. (1999). Mobilité, système d'interactions sociales et dynamiques territoriales. *Espace, populations, sociétés*, 17(2) :187–194.
- [Wilensky, 1999] Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

- [Williams et al., 2015] Williams, S., White, A., Waiganjo, P., Orwa, D., and Klopp, J. (2015). The digital matatu project : Using cell phones to create an open source data for Nairobi's semi-formal bus system. *Journal of Transport Geography*, 49 :39–51.
- [Winder, 2000] Winder, N. (2000). Modelling within a thermodynamic framework : a footnote to Sanders (1999). *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- [Wolfram, 2002] Wolfram, S. (2002). *A New Kind of Science*. Wolfram Media, Champaign, IL, 1 edition edition.
- [Wolkowitch, 1992] Wolkowitch, M. (1992). *Géographie des transports : aménagement et environnement*. A. Colin.
- [Wright and Fjellstrom, 2003] Wright, L. and Fjellstrom, K. (2003). Mass Transit Option. Technical report, Institute for transportation and development policy.
- [Xenitidou and Edmonds, 2014] Xenitidou, M. and Edmonds, B. (2014). *The Complexity of Social Norms*. Springer.
- [Yengo, 2006] Yengo, P. (2006). *La guerre civile du Congo-Brazzaville, 1993-2002 : "chacun aura sa part"*. KARTHALA Editions.
- [Zahavi and Talvitie, 1980] Zahavi, Y. and Talvitie, A. (1980). Regularities in Travel Time and Money Expenditures. *Transportation research Record*, (750) :13–19.
- [Ziavoula, 2005] Ziavoula, R. E. (2005). *Dynamiques des territoires, villes et développement local au Congo Brazzaville*. Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris.
- [Ziavoula, 2006] Ziavoula, R. E. (2006). *Brazzaville, une ville à reconstruire*. KARTHALA Editions.

Table des matières

Remerciements	3
Introduction Générale	7
I Partie 1 : Mobilité et transports en commun	13
1 Des mobilités aux questions de transports	17
1.1 Mobilités	18
1.1.1 Des mobilités à la mobilité quotidienne	18
1.1.2 Les enjeux de la mobilité	19
1.1.3 Gérer la mobilité ?	24
1.1.4 Dimensions spatiales de la mobilité	26
1.2 Le transport non institutionnel	30
1.2.1 Définition des termes	30
1.2.2 Le transport artisanal dans le monde	39
1.3 Étudier le transport artisanal : quels défis, quelles solutions ?	44
1.3.1 Des approches multiples	45
1.3.2 Dans l'opérationnel	49
1.4 Enjeux et positionnement de la recherche	51
1.4.1 Construire une démarche adaptée	52
1.4.2 Proposer une approche objective ?	55
1.5 Conclusion du chapitre 1	58
2 Les transports collectifs artisanaux	61
2.1 Lima et Brazzaville : trajectoires et contextes	61

2.1.1	Histoire urbaine de "Lima la horrible"	63
2.1.2	Brazzaville la verte	72
2.2	Acteurs et agents du transport artisanal	78
2.2.1	Organisation des transports artisanaux à Lima	79
2.2.2	Organisation des transports artisanaux à Brazzaville	86
2.3	Des cas d'étude représentatifs ?	95
2.3.1	La gestion des itinéraires	95
2.3.2	La gestion des fréquences	96
2.3.3	D'une typologie à ses limites	96
2.4	Conclusion du chapitre 2	98

II Partie 2 : Du terrain à la modélisation 99

3 Une démarche de géographie dynamique 103

3.1	Les structures émergentes du transport artisanal	104
3.1.1	Données disponibles et Données collectées	104
3.1.2	Les structures émergentes	115
3.1.3	Limites du raisonnement	126
3.2	De la complexité à la modélisation multi-agents	127
3.2.1	Les concepts clés de notre approche	127
3.2.2	Appréhender la complexité	142
3.3	Conclusion du Chapitre 3	147

4 Modélisations appliquées de transports artisanaux 149

4.1	Démarche expérimentale	150
4.1.1	Nos hypothèses	150
4.1.2	Protocole expérimental	152
4.1.3	Quelle plateforme choisir ?	153
4.1.4	La démarche ODD pour présenter nos modèles	153
4.2	Présentation du modèle BrazzaBus	154
4.2.1	Vue d'ensemble	154
4.2.2	Concepts d'élaboration	157
4.2.3	Détails	160
4.3	Le modèle de Lima	164
4.3.1	Vue d'ensemble	164

4.3.2	Concepts d'élaboration	167
4.3.3	Détails	169
4.3.4	Deux modèles aux caractéristiques distinctes	176
4.4	Résultats	176
4.4.1	Les variables de sortie : différents types d'efficacité	176
4.4.2	Variation de la demande	180
4.4.3	Confrontation des simulations aux systèmes observés	183
4.5	Conclusion du Chapitre 4	185

III Partie 3 : Transports artisanaux et villes théoriques 187

5 Proposition de modélisations abstraites 191

5.1	Le modèle jouet	192
5.1.1	Éloge de la simplicité	192
5.1.2	Résultats	194
5.2	Le choix et la construction des environnements	200
5.2.1	Réseaux et Demandes	200
5.2.2	Nombre de bus et Prix du ticket	203
5.2.3	Expériences	204
5.3	Résultats	206
5.3.1	Stratégie de gestion des itinéraires	207
5.3.2	Stratégie de gestion des fréquences	213
5.4	Conclusion du chapitre 5	218

6 Vers des contextes de prédilection 221

6.1	Hierarchisation des variables, analyse des effets	222
6.1.1	Le choix de la méthode de traitement : ANCOVA	222
6.1.2	Variables structurantes pour le rendement	223
6.1.3	Variables structurantes pour la répartition de la desserte	227
6.1.4	Variables structurantes pour la rentabilité du système	230
6.2	Ce que nous apporte la comparaison	232
6.2.1	Des contextes de prédilection	233
6.3	Une solution pour le transport collectif de demain ?	238
6.3.1	Quels leviers d'action ?	238
6.3.2	Apports de l'intelligence distribuée	241

6.3.3	Libéralisation du service, pas de l'emploi	242
6.4	Conclusion du Chapitre 6	245

Conclusion		249
-------------------	--	------------

Bibliographie		253
----------------------	--	------------

Table des figures

1.1	Schéma lexical du transport non institutionnel	38
1.2	Photographies d'autobus - Léa Wester	40
1.3	Schéma en spirale de l'évolution des transports collectifs	41
1.4	Niveau de régulation du transport artisanal	42
2.1	Carte de situation	62
2.2	Carte de situation	62
2.3	Carte du Pérou	62
2.4	Carte du Congo	62
2.5	Lima au XVI ^{ème}	64
2.6	Évolution de Lima	65
2.7	Localisation des zones périphériques	67
2.8	Localisation des districts mentionnés	67
2.9	Schéma du développement des infrastructures viaires à Lima (Léa Wester)	68
2.10	Carte des échelons administratifs de Lima	70
2.11	Bâti et toponymie de Brazzaville	74
2.12	Éléments de structure urbaine à Brazzaville	77
2.13	Les véhicules de transport en commun à Lima	81
2.14	Relation entre les différents acteurs du transport collectif à Lima	82
2.15	Carte des zones enquêtées en 2012	85
2.16	Exemples photographiques des stratégies	86
2.17	Un informateur au travail	87
2.18	Les véhicules de transport en commun à Brazzaville	87
2.19	Relations entre les différents acteurs du système de transport	89
2.20	Collection d'affichettes dans un minibus	90
2.21	Carte des rues desservies par les transports en commun	91

2.22	File d'attente pour entrer dans un bus en heure de pointe	94
2.23	Typologie de transports artisanaux	97
3.1	Schéma du contexte systémique des transports collectifs urbains	105
3.2	Schéma du processus d'émergence	106
3.3	Schéma de l'émergence dans un système de transport artisanal	107
3.4	Tableau des données utilisées pour étudier les transports artisanaux	108
3.5	Extrait de la grille de l'enquête	109
3.6	Guide pour les enquêteurs	110
3.7	Photographie d'une grille de l'enquête remplie par un enquêteur	110
3.8	Localisation des points de comptage	112
3.9	Photographie satellite avec localisation des arrêts de bus clés	113
3.10	Exemple de zone agrandie pour le comptage	113
3.11	Carte des résultats du comptage sur image satellite	114
3.12	Desserte à Brazzaville	116
3.13	Desserte à Lima	117
3.14	Indicateurs de pauvreté et transports à Lima	118
3.15	Profils des usagers enquêtés à Brazzaville	119
3.16	Motifs des déplacements enquêtés	120
3.17	Répartition des concessions à Lima	121
3.18	Répartition des fréquences à Lima	123
3.19	Localisation des informateurs	124
3.20	Fréquences de passage des bus à Brazzaville	125
3.21	Le microscope [Rosnay, 1975]	128
3.22	Modèle de la modélisation par F. Durand-Dastès	132
3.23	Hierarchisation des objets scientifiques	133
3.24	Forme produite par 1000 itérations de la règle 30	134
3.25	Fonctionnement d'un système multi-agents [Ferber, 1997]	143
3.26	Catégorisation des modèles	144
4.1	Schéma de notre démarche globale	151
4.2	Tableau récapitulatif du protocole expérimental	152
4.3	Diagramme UML du modèle BrazzaBus	155
4.4	Configuration de l'espace pour le modèle BrazzaBus	156
4.5	Organisation des processus pour le modèle BrazzaBus	157

4.6	Un exemple d'initialisation à partir des données enquêtées	160
4.7	Répartitions initiales des usagers pour le modèle BrazzaBus	161
4.8	Diagramme de séquence du modèle BrazzaBus	161
4.9	Diagramme d'activités du choix des itinéraires de BrazzaBus	162
4.10	Diagramme d'activité de l'opération du service de BrazzaBus	163
4.11	Diagramme UML du modèle LimaBus	164
4.12	Configuration de l'espace pour le modèle LimaBus	166
4.13	Organisation des processus pour le modèle LimaBus	167
4.14	Exemple de répartition des bus	170
4.15	Répartitions initiales des usagers	170
4.16	Les sous-modèles de LimaBus	171
4.17	Séquence de l'embarquement des usagers	172
4.18	Séquence du choix stratégique	172
4.19	Séquence de l'opération du service	173
4.20	Synthèse de LimaBus et BrazzaBus	175
4.21	Nombre d'usagers desservis - BrazzaBus	177
4.22	Nombre d'usagers desservis - LimaBus	178
4.23	Concentration de la desserte - BrazzaBus	179
4.24	Concentration de la desserte - LimaBus	180
4.25	Rendement en fonction de la demande - BrazzaBus	181
4.26	Rendement en fonction de la demande - LimaBus	181
4.27	Répartition de la desserte en fonction de la demande - BrazzaBus	182
4.28	Répartition spatiale en fonction de la demande - LimaBus	183
4.29	Synthèse - Variation du nombre de bus	185
4.30	Synthèse - Variation de la demande	186
5.1	L'environnement du modèle jouet	193
5.2	Plan d'expérience du modèle jouet	195
5.3	Nombre d'usagers desservis	195
5.4	Indice de concentration de la desserte	196
5.5	Part des choix stratégiques	198
5.6	Particularités stratégiques	198
5.7	Réseau de type Manhattan	201
5.8	Réseau quadrillé doublement	201
5.9	Réseau en étoile à 3 voisins	202

5.10	Réseau en étoile à 7 voisins	202
5.11	Interface du modèle sous <i>Netlogo</i>	205
5.12	Nombre d'usagers desservis	208
5.13	Concentration de la desserte	210
5.14	Bénéfices	212
5.15	Nombre d'usagers desservis	215
5.16	Concentration de la desserte	216
5.17	Profits	217
5.18	Tableau de synthèse des résultats	218
6.1	Significativité pour le rendement	223
6.2	Comparaison des paramètres pour le rendement	224
6.3	ANCOVA pour le rendement - It-AO	225
6.4	Comparaison intra-groupes	225
6.5	ANCOVA pour le rendement -Freq-AO	226
6.6	Comparaison intra-groupes	226
6.7	Significativité pour l'"indice de concentration"	227
6.8	Comparaison des paramètres pour l'"indice de concentration"	228
6.9	ANCOVA pour la "concentration" du modèle IT-AO	228
6.10	Comparaison intra-groupes	229
6.11	ANCOVA pour la variable "concentration"	229
6.12	Comparaison intra-groupes	230
6.13	Significativité pour la variable "bénéfices"	231
6.14	Comparaison des paramètres pour les "bénéfices"	231
6.15	ANCOVA pour les "bénéfices"	232
6.16	Comparaison intra-groupes	232
6.17	ANCOVA pour la variable "bénéfices"	233
6.18	Comparaison intra-groupes	233
6.19	Synthèse des contextes urbains	235

Transports collectifs et initiative individuelle

Approche des transports collectif artisanaux par l'auto-organisation et les systèmes multi-agents

Dans de nombreuses métropoles, il n'existe pas de transports collectifs centralisés, publics ou privés. Des solutions alternatives se sont développées grâce à des systèmes de transports artisanaux qui reposent sur l'éclatement de la propriété et l'autonomie des équipages de véhicules. Leur mode d'organisation permet aux transports artisanaux de s'adapter à la demande de manière dynamique.

Nous proposons d'analyser les caractéristiques de ces systèmes grâce à la modélisation multi-agents et les théories de l'auto-organisation. A travers plusieurs modèles, nous verrons comment les structures et les dynamiques de ces systèmes dépendent des stratégies individuelles et de la structure urbaine.

A travers la question de l'adaptabilité du transport en commun, les transports artisanaux nous amènent à nous interroger sur les dimensions urbaines de la mobilité collective mais également sur la flexibilisation des services de transport.

Mots clés : Modélisation multi-agents, auto-organisation, transports collectifs artisanaux, ville, développement, Brazzaville, Lima

Transit system and individual initiative

Studying small-scale transport with self-organization theories and multi-agents system

Several metropolises have not any centralized collective transport system, neither private nor public. Alternative solutions appeared, their characteristics are principally that the ownership is spread out and the vehicle crew is self-directed. The mode of organization of these transports allows them to adapt dynamically to the demand.

We propose to analyse the characteristics of these systems by means of multi-agents modeling and self-organization theory. Using several models, we show how structures and dynamics of these systems are linked to individual strategies and urban structure.

Through the question of adaptability of collective transport, small-scale transports led to concern about urban dimensions of collective mobility and flexibilisation of transport services.

Key words : Multi-agents modeling, self-organization, small-scale transports, city, developping, Brazzaville, Lima

Contacts : Léa Wester



lea.wester@laposte.net

Aix Marseille Université, 29 avenue Robert Schuman, 13621 Aix en Provence Cedex 1

UMR 7300 Espace, Equipe d'Aix, 29 avenue Robert Schuman, 13621 Aix en Provence Cedex1