

**MOBILITÉ QUOTIDIENNE À BRAZZAVILLE :
L'ADAPTATION DU TRANSPORT ARTISANAL À UNE
MORPHOLOGIE URBAINE SPÉCIFIQUE**

LÉA WESTER, FRÉDÉRIC AUDARD

UMR 7300 ESPACE

AIX MARSEILLE UNIVERSITÉ

Mobilité quotidienne et forme urbaine présentent un lien fort, tant dans leur structure que leur dynamique. Pourtant, ce lien ne semble pas s'appliquer de manière équivalente dans les villes des pays industrialisés et dans les villes de l'Afrique au sud du Sahara. De ce fait, les problématiques que la mobilité engendre ne sont pas toujours comparables et les structures qu'elle fait émerger prennent des formes très différentes. Dans les pays industrialisés, l'étalement urbain est analysé comme une augmentation du périmètre urbanisé (MERLIN, 1998). Il résulte de deux phénomènes concomitants et intrinsèquement liés : la croissance urbaine d'une part et les améliorations techniques du transport urbain d'autre part (DUPUY, 1995). Ainsi, la croissance urbaine va de pair avec un étalement qui connaît « *une croissance contigüe à faible densité en périphérie* » (BARCELO, 1999). Les villes des pays industrialisés ont ainsi connu une modification graduelle de leur structure en parallèle des progrès en termes de mobilité quotidienne. Cette évolution est marquée par trois âges distincts (NEWMAN, KENWORTHY, 1996) :

- . l'âge de la ville pédestre (étalement réduit) ;
- . l'âge de la ville des transports en commun (ville radiale et étalement réduit en fonction de l'accessibilité) ;
- . l'âge de la ville automobile (ville éclatée selon WIEL, 2002 ; étalement urbain fort et spécialisation fonctionnelle de l'espace urbain).

En comparaison, les villes d'Afrique, souvent plus récentes et empruntées d'une croissance démographique et spatiale rapide (TABUTIN, 2004) n'ont pas suivi la même évolution. Les causes structurelles de cette croissance urbaine spécifique diffèrent également. La motorisation des ménages -cause du troisième âge de l'étalement urbain dans les pays industrialisés- est encore très faible dans nombre de pays africains. Le desserrement des centres urbains, politiquement volontaire dans les villes européennes, est en fait subi par les pouvoirs publics africains. Des quartiers informels, dépassant les limites administratives établies, prennent place aux abords des espaces déjà urbanisés. Les populations s'installant dans ces espaces de marge n'ont souvent pas d'autres alternatives. Les prix de l'immobilier et le manque de solution technique pour densifier davantage les espaces centraux amènent inexorablement à repousser les limites urbaines pour accueillir de nouvelles populations. Les populations pauvres (voire de la classe moyenne) sont contraintes à la colonisation d'espaces périphériques vides, parfois non lotis et non viabilisés (MOUNOUTCHY, 2008). Ce modèle de croissance urbaine amène souvent à des villes au développement anarchique dont la superficie tend à croître plus rapidement que la population (GUÉZÉRÉ, 2013). De plus, la densité graduelle des villes des pays industrialisés, diminuant en périphérie, ne se retrouve pas dans les modèles urbains au sud du Sahara et ajoute de la complexité au fonctionnement de ces espaces (AUDARD et alii, 2012). Par ailleurs, l'accessibilité n'entre que peu en compte dans les stratégies individuelles de choix résidentiel, qu'il s'agisse d'une accessibilité généralisée ou spécifique à des aménités urbaines (GUÉZÉRÉ, 2013). Ainsi, la croissance démographique croisée avec la prédominance de l'habitat horizontal et le manque global d'accessibilité aux nouveaux espaces de logements rendent de plus en plus difficiles les conditions de déplacement des citoyens (DIAZ OLVERA et alii, 2002).

Dans ce contexte, nous nous interrogeons sur la place que prennent les transports artisanaux dans l'espace urbain des villes au sud du Sahara. Comment se structure l'offre de transport artisanal et quelle dynamique lui permet de répondre à des évolutions rapides ? Quelle efficacité propose l'émergence de cette desserte ? Et donc dans quelle mesure le transport artisanal tend-il à fluidifier l'espace urbain ?

L'objectif de cet article est de proposer une analyse du système de transport intra-urbain de Brazzaville. Notre démarche méthodologique a consisté dans un premier temps à faire un inventaire des modes de transports présents sur l'espace brazzavillois. Nous replacerons spécifiquement les transports artisa-

naux dans le système urbain global, avant de simuler leur structure et leurs dynamiques spatiales, à partir de données d'enquêtes spécifiques à cette étude. La démarche de simulation présentée ici est basée sur une approche méthodologique multi-agents.

Les questions posées dans les problématiques soulevées trouveront des réponses tout d'abord à travers l'étude théorique et qualitative des formes urbaines et des réseaux rencontrés. Puis l'analyse des résultats des simulations nous permettra de mesurer l'efficacité des systèmes de transports artisanaux auto-organisés dans le contexte urbain spécifique de Brazzaville.

1. LA PLACE DES TRANSPORTS ARTISANAUX DANS LA MOBILITÉ QUOTIDIENNE

Dans le contexte de l'accélération des échanges et des déplacements, les questions de mobilité orientent une partie de l'aménagement du territoire. L'injonction à la fluidité se généralise (ASCHER, 2010). La compétition économique internationale se joue par l'accélération des déplacements à toutes les échelles. La dimension quotidienne des mobilités regroupe des enjeux multiples, entre autres : développement économique, respect de l'environnement, intégration sociale. Les villes doivent répondre aux besoins de mobilité de leurs habitants pour fournir l'accès aux principaux services urbains et ce de la manière la plus homogène possible, sous peine de créer des espaces marginalisés (BOURDIN et alii, 2007).

La libéralisation économique prônée par les institutions internationales à travers les plans d'ajustement structurels des années 1980, la faiblesse des structures institutionnelles et des investissements ont fait disparaître progressivement l'offre de transports publics (ROCHA, 2013). D'autres solutions de transports collectifs ont pris le dessus. Elles reposent sur des micro-entreprises privées. Ces transports artisanaux permettent aujourd'hui la mobilité quotidienne de millions de citoyens à travers le monde (GODARD, 2002). Ils ont la particularité de laisser une grande autonomie aux équipages des véhicules dans la construction du service. La desserte ne s'organise pas à partir d'une quelconque planification ou centralisation (GODARD, 2009). Ces transports possèdent donc une grande capacité d'organisation, basée sur l'initiative individuelle et une très grande adaptabilité à la demande. Ces transports artisanaux recouvrent aussi bien des solutions de transport individuelles (taxis non collectifs, mototaxis) que des systèmes de transport en commun (minibus ou taxis collectifs).

Les transports artisanaux sont parfois assimilés au transport informel, en raison de leur non-conformité à la loi. Dans les pays de l'Afrique au sud du Sahara, cette question de l'informalité est souvent liée à la question de la possession ou non d'un agrément pour permettre l'exploitation d'un mode de transport. Cet agrément implique la déclaration du véhicule et de l'activité, et permet une forme de régulation de la flotte liée au transport urbain par les

pouvoirs publics.

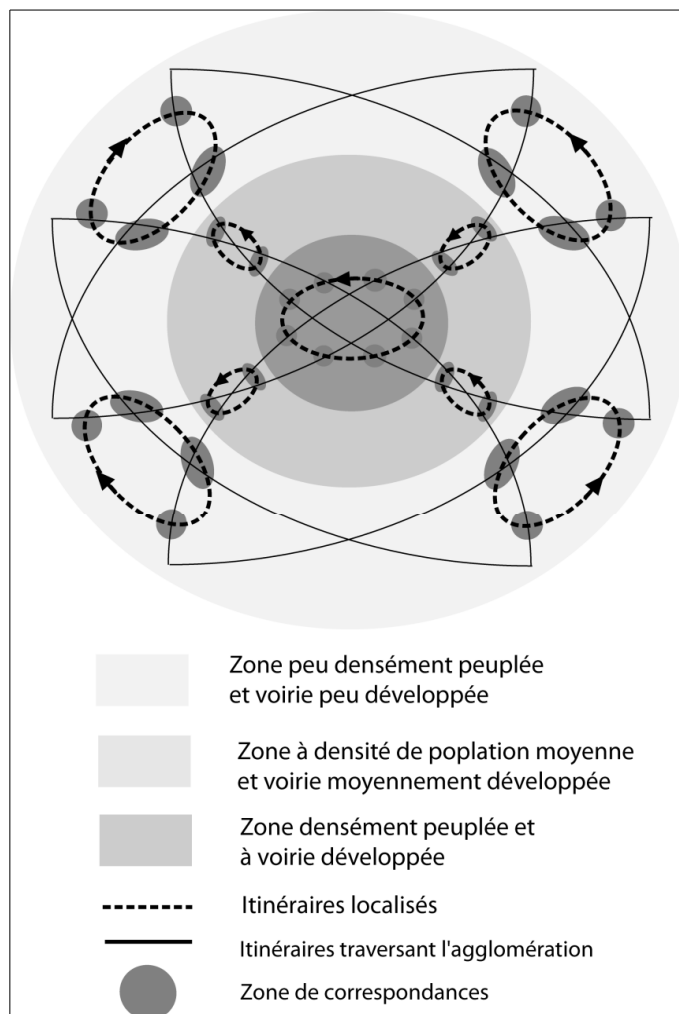
Finalement, les notions d'informel et d'artisanal ne correspondent pas toujours exactement au phénomène observé. En effet, même si certains véhicules ont un agrément, il n'est pas rare que des transports collectifs se développent aux limites de la légalité ou mettent à profit des vides juridiques (LOMME, 2004 ; GODARD, 2002 ; KAMDEN, 2014). Certains propriétaires sont aussi chauffeurs, ce qui leur donne le statut d'artisans mais bien souvent l'opération concrète du service est sous-traitée à un travail journalier. La caractéristique la plus intéressante de ces transports reste la grande autonomie des équipages de véhicules dans l'opération concrète du service. Leur adaptation constante à la demande participe d'une certaine fluidification des mobilités. Ils permettent en effet les déplacements quotidiens de nombreux citoyens en répondant à la demande de manière instantanée, sans planification ou organisation de la circulation.

La place que prennent ces initiatives individuelles dans l'offre globale de déplacement varie en fonction des différentes configurations urbaines et des contextes législatifs locaux. Cependant, on observe à travers le monde une forme de récurrence, tant dans le jeu des acteurs concernés que dans les principes économiques ou les structures spatiales.

D'une part, ces transports artisanaux, quel que soit leur degré d'informalité, reposent sur un diptyque fonctionnel composé de propriétaires et d'équipages de véhicules. A partir de cette base, des acteurs complémentaires s'intercalent dans les relations. Il s'agit de concessionnaires qui possèdent les autorisations de circulation, parfois sur des itinéraires définis. Cette structure organisationnelle peut prendre plusieurs formes et les fonctions qu'elle contient peuvent être assumées par une, deux ou trois personnes (SALAZAR FERRO, 2014). On voit apparaître, dans certains cas, des agents de contrôle qui assurent, pour partie, une forme de régulation du système, sans que leurs actions prennent une forme autoritaire (WESTER et alii, 2014).

D'autre part, même si les structures urbaines auxquelles ils s'adaptent varient, les transports artisanaux possèdent une structure spatiale commune. Ils se répartissent au sein de l'espace urbain en fonction de la forme de leur desserte ou de leur capacité d'accueil. Ainsi, si une grande concurrence économique existe entre les différents opérateurs, on constate une assez grande complémentarité spatiale dans la répartition qu'ils ont opérée (Figure 1). La desserte s'adapte globalement aux caractéristiques des différentes zones. Celles-ci ont été résumées ici par la densité de population. Elle sous-entend une demande plus ou moins importante. Le même schéma peut être développé concernant la répartition fonctionnelle dans une agglomération, par exemple. Divers éléments composent la demande et définissent les zones desservies.

Figure 1 : Schéma organisationnel des transports artisanaux



Auteure : L. WESTER




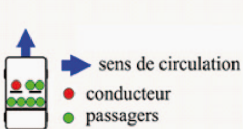
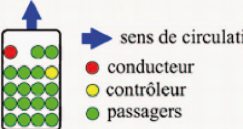
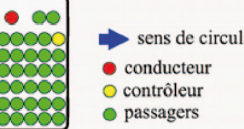
2. LE CAS BRAZZAVILLOIS : UNE STRUCTURE URBAINE, UN SYSTÈME DE TRANSPORT SPÉCIFIQUE

Le système de transport en commun à Brazzaville diffère assez peu des autres systèmes de transport artisanaux observables en Afrique au sud du Sahara. L'exception notable reste l'absence de mototaxis. Le système repose sur trois types de transports collectifs : les taxis collectifs, les minibus et les bus. Ils diffèrent bien sûr par leur capacité (Figure 2), mais également par leur degré d'informalité.

Les taxis collectifs (appelés 100-100 en raison de leurs prix, au départ de 100 francs CFA) parcourent des itinéraires circulaires dans les quartiers péri-

phériques de la ville. Ils n'ont aucune autorisation de circulation et les véhicules sont rarement en état de circuler légalement. En raison de l'état de vétusté souvent avancé des véhicules et du caractère totalement informel de ce mode de transport, ils desservent souvent les nouveaux quartiers ou les zones urbaines les plus défavorisées. Ils servent à des déplacements courts, qui pourraient être effectués à pied. Ils complètent ainsi une offre de transport préexistante à une échelle plus petite. Ils assurent deux fonctions principales dans les déplacements quotidiens. Ils correspondent parfois à l'ultime trajet dans un déplacement intermodal. Par ailleurs, ils assurent également un rôle de proximité pour le transport d'achats ou de personnes ayant des difficultés à se déplacer.

Figure 2 : Les véhicules de transport collectif à Brazzaville

| Taxi | Mini-Bus | Bus |
|--|--|---|
|  <p data-bbox="603 846 770 869">Taxi collectif / 100-100</p> |  <p data-bbox="922 846 1042 869">Minibus / Hiace</p> |  <p data-bbox="1241 846 1345 869">Bus / Coaster</p> |
|  <p data-bbox="639 972 791 994">sens de circulation</p> <p data-bbox="639 1003 719 1025">● conducteur</p> <p data-bbox="639 1034 719 1057">● passagers</p> |  <p data-bbox="943 949 1094 972">sens de circulation</p> <p data-bbox="943 981 1023 1003">● conducteur</p> <p data-bbox="943 1012 1023 1034">● contrôleur</p> <p data-bbox="943 1043 1023 1066">● passagers</p> |  <p data-bbox="1246 949 1398 972">sens de circulation</p> <p data-bbox="1246 981 1326 1003">● conducteur</p> <p data-bbox="1246 1012 1326 1034">● contrôleur</p> <p data-bbox="1246 1043 1326 1066">● passagers</p> |
| <p data-bbox="547 1077 746 1099">modèle : Toyota Corolla</p> <p data-bbox="547 1108 823 1131">utilisation : taxi course ou 100-100</p> <p data-bbox="547 1140 719 1162">capacité : 6 passagers</p> | <p data-bbox="850 1077 1050 1099">modèle : Toyota Hiace</p> <p data-bbox="850 1108 1126 1131">utilisation : transport en commun</p> <p data-bbox="850 1140 1023 1162">capacité : 19 passagers</p> | <p data-bbox="1153 1077 1353 1099">modèle : Toyota Coaster</p> <p data-bbox="1153 1108 1430 1131">utilisation : transport en commun</p> <p data-bbox="1153 1140 1326 1162">capacité : 31 passagers</p> |

Source : PEREZ (2010)

Les bus de grande taille sont eux aussi limités dans leur circulation. Leur gabarit est inadapté à la circulation sur des routes non entretenues, qui sont majoritaires à Brazzaville. Ainsi les grands bus restent cantonnés à la partie centrale de l'agglomération. Ils relient le marché Total au rond-point Mougali en effectuant une boucle autour du centre ville.

La plupart des routes parcourues par les transports collectifs le sont par les minibus. Appelés aussi Hiace, du nom du modèle de véhicule Toyota, ces minibus parcourent la totalité de l'agglomération. Ils sont dirigés par deux personnes, le chauffeur et le contrôleur. Le contrôleur est communément appelé « crieur » car en plus d'encaisser les usagers il annonce de manière orale la destination du véhicule. Des arrêts de bus informels, inexistant officiellement, ont été créés le long des itinéraires de manière régulière. A

l'endroit où les usagers étaient les plus nombreux, des arrêts de bus se sont créés en prenant le nom du commerce le plus proche ou d'un élément marquant du patrimoine urbain. Par la suite, une véritable hiérarchisation des arrêts de bus a commencé à se distinguer avec des arrêts basiques situés le long d'un itinéraire unique. Plusieurs destinations y sont possibles mais la totalité du trafic suivra le même trajet jusqu'à la prochaine plate-forme multimodale. La fréquentation de ces arrêts de bus varie en fonction de l'heure de la journée. Régulièrement sur les itinéraires, on trouve des arrêts structurant le réseau, ils sont de réelles plates-formes multimodales. Ces arrêts sont généralement situés avant un rond-point ou une intersection pour permettre la bifurcation modale. La fréquentation de ces pôles d'échanges est très importante. A l'instar des taxis collectifs, les minibus ne desservent pas l'intégralité du périmètre d'un quartier (Figure 3). Ils se contentent d'emprunter les axes structurants goudronnés et balisés d'arrêts de bus. Ces axes sont en partie concomitants avec certaines boucles de 100-100 et permettent une intermodalité poussée (Figure 4).

Figure 3 : Le réseau parcouru par les minibus à Brazzaville

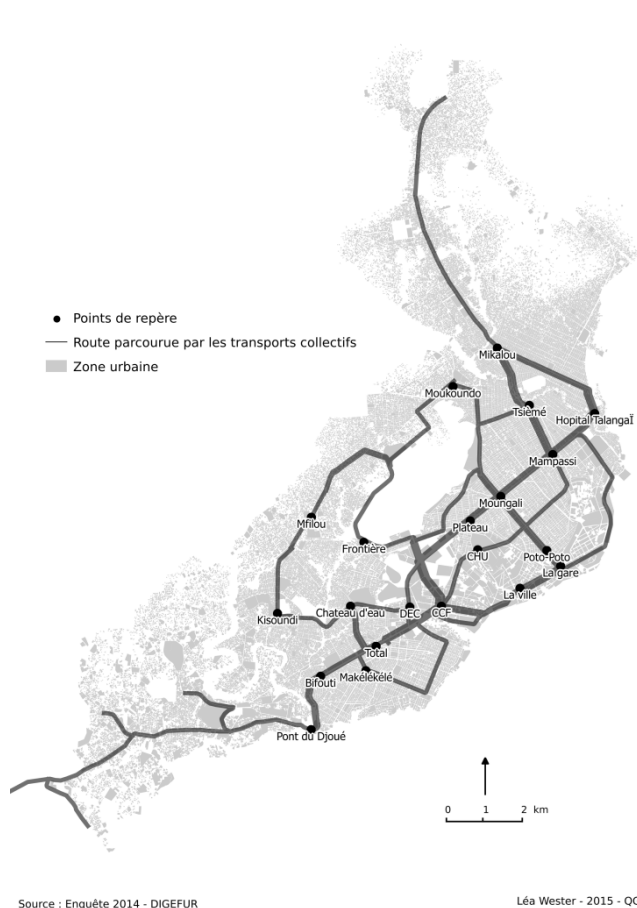
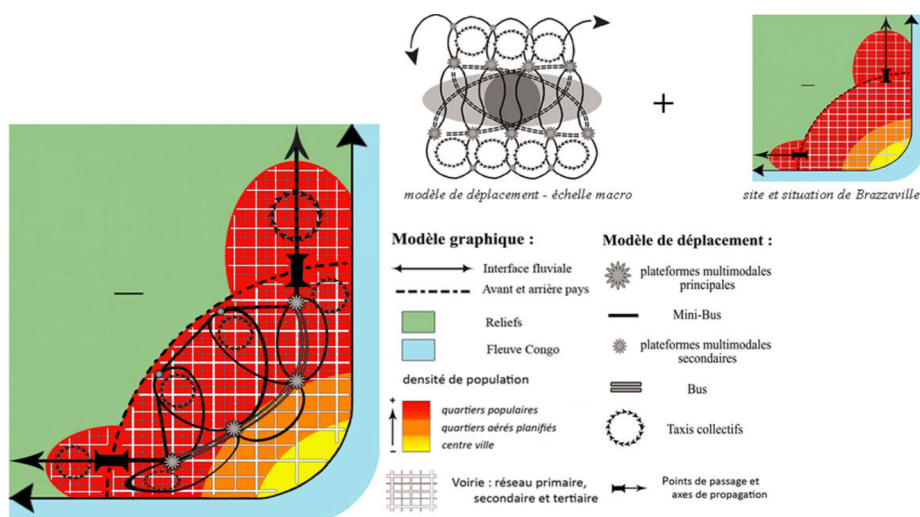


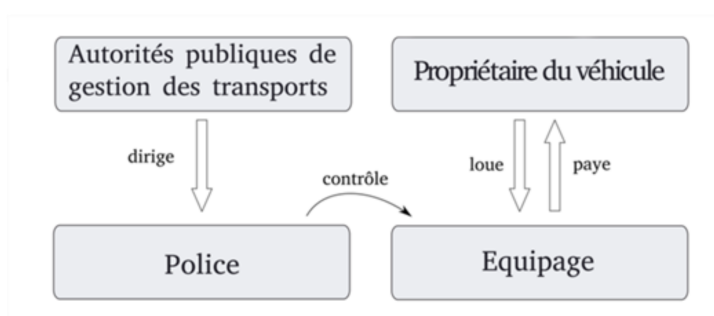
Figure 4 : Le modèle de transport brazzavillois



Source : AUDARD et alii (2012)

Ainsi, les trois sous-systèmes des transports collectifs brazzavillois ont des degrés d'informalité différents. Leur caractère artisanal doit également être relativisé du fait de la structure organisationnelle du secteur (Figure 5). En effet, les équipages de véhicules ne sont pas propriétaires de leur véhicule. Ce système se situe donc entre l'artisanat et le micro-entrepreneariat.

Figure 5 : Relations entre les différents acteurs du système de transport collectif à Brazzaville



Afin de comprendre au mieux la réalité des comportements des usagers et des transporteurs au sein de ce système, nous avons effectué deux enquêtes distinctes.

La première a été conduite auprès des usagers des transports collectifs de Brazzaville en 2014, avec pour objectif de constituer des données de demande fiables pour construire une modélisation multi-agents. Nous avons également pu appréhender les profils des usagers de transports collectifs à Brazzaville. Ceux-ci ne diffèrent pas fondamentalement des profils d'usagers

observés dans le reste de l'Afrique Subsaharienne (DIAZ OLVERA et alii, 2005 ; DIAZ OLVERA et alii, 2010)¹.

La seconde enquête a été effectuée dans les transports en commun². L'information recueillie a pris deux formes : d'une part les horaires de passage aux arrêts afin de définir les trajets et les temps de parcours des véhicules ; d'autre part le nombre de montées/descentes à chaque arrêt pour définir une demande potentielle aux arrêts structurants.

Ces deux enquêtes nous ont permis de faire le lien entre l'offre et la demande afin de comprendre quelle est la place des transports collectifs artisanaux dans le système de mobilité brazzavillois.

Les usagers des transports collectifs que nous avons interrogés sont en majorité des travailleurs peu qualifiés du secteur formel et du secteur informel (Figure 6). Avec les écoliers et étudiants, ils constituent la principale clientèle du transport artisanal. Ces catégories de population sont suffisamment aisées pour se permettre de payer un ticket de bus mais ils n'ont pas la possibilité d'utiliser quotidiennement le taxi. L'absence relative des extrêmes de l'échelle sociale indique que ces catégories utilisent peu les transports collectifs. Par manque de moyens, les plus pauvres se tournent vraisemblablement vers la marche. Les plus aisés préfèrent utiliser le taxi ou investir dans un véhicule personnel. Finalement, le transport artisanal permet la

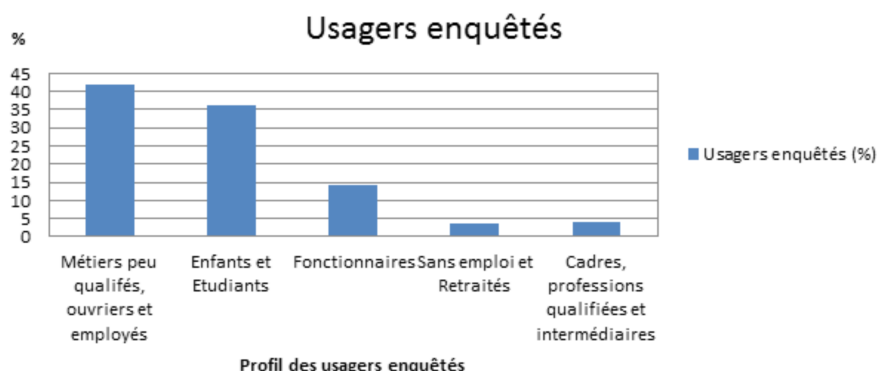
¹ La constitution de cette base de données a nécessité une mission de terrain de 6 semaines en 2015, avec la participation financière de l'UMR 7300 ESPACE-CNRS. Une équipe de 10 enquêteurs a été recrutée sur place et formée. La collecte des données a été effectuée en deux phases. La première, du 29 avril au 9 mai 2014, a permis de mener les enquêtes aux 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 réalisé entre le 22 et le 25 avril 2014, avec l'aide de trois enquêteurs. Nous avons interrogé en tout 3 978 personnes. Certaines effectuent plusieurs déplacements, un aller-retour par exemple. Nous disposons donc d'un échantillon de 4 300 déplacements répartis sur la journée, de 4h00 à 22h00, certains ont été enquêtés directement, d'autres indirectement. Les tranches horaires de 4h00 à 6h00 et de 18h00 à 22h00 n'ont pas été directement enquêtées. Nos enquêteurs ont travaillé de 6h00 à 18h00.

Sachant que le taux de citoyens mobiles avoisine les 90 % (DIAZ OLVERA et alii, 2012) et que les transports en commun représentent en moyenne 20 % des déplacements en Afrique au sud du Sahara (DIAZ OLVERA et alii, 2010), on considère qu'environ 230 000 personnes utilisent les transports en commun à Brazzaville. Chacun effectuant au moins deux déplacements par jour et en comptant les résidents en dehors de la ville qui viennent pour la journée, on estime à près d'un million le nombre de déplacements journaliers. 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 redressé de déplacements par arrêt sélectionné varie de 251 à 747. Ainsi nous avons un indice de confiance qui varie de 6,18 à 3,58 selon les arrêts, avec une médiane à 4,92.

² Cette enquête a été coordonnée pendant 3 semaines en 2012, avec la participation financière de l'UMR 7300 ESPACE-CNRS. Une équipe de 5 enquêteurs a été recrutée sur place. Le protocole mis en place consistait à placer les enquêteurs à des places stratégiques du réseau à des heures fixées préalablement et à rester dans le même véhicule durant l'ensemble de son trajet.

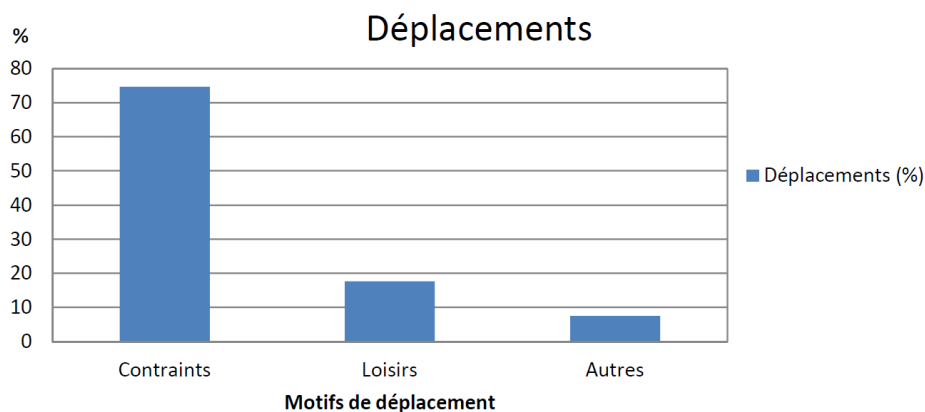
mobilité quotidienne des citoyens des classes moyennes mais dessert moins les plus pauvres et les plus riches.

Figure 6 : Les profils des usagers du transport artisanal à Brazzaville



L'analyse des résultats de l'enquête montre des déplacements principalement contraints (Figure 7). En effet, plus de 70 % des motifs de déplacement concernent le travail ou les études. Nous pouvons supposer que les déplacements non contraints s'effectuent plutôt à pied. Lors des entretiens de nombreux usagers ont mis en avant l'importance de la marche dans leurs déplacements quotidiens. A l'inverse, les déplacements exceptionnels et importants, qui ne relèvent pas du quotidien, sont plutôt effectués en taxis pour plus de fiabilité. Le manque de régularité des véhicules est souvent souligné par nos enquêtés. Ainsi, les transports artisanaux sont principalement utilisés pour les déplacements quotidiens contraints. Les usagers empruntent peu ce mode de transport pour des déplacements de loisirs. Ces transports sont donc bien une solution de déplacement en cas de nécessité. Les usagers ne les utilisent que dans les situations où ils n'ont d'autre choix que de se déplacer.

Figure 7 : Les motifs de déplacement en transport artisanal



Les transports artisanaux à Brazzaville répondent à une demande d'usagers captifs. Ceux-ci n'ont pas d'autre moyen de transport motorisé à leur disposition. En l'absence de choix modal, ils sont prisonniers du système de transport collectif pour leurs déplacements. De plus, ils empruntent les transports artisanaux quand ils sont dans l'obligation de se déplacer. Dans ce contexte, le rôle du transport artisanal est particulièrement important pour l'économie urbaine. Puisque les principaux déplacements sont ceux des travailleurs et étudiants pour des motifs professionnels, ces transports permettent une mobilité quotidienne nécessaire au maintien de l'activité économique.

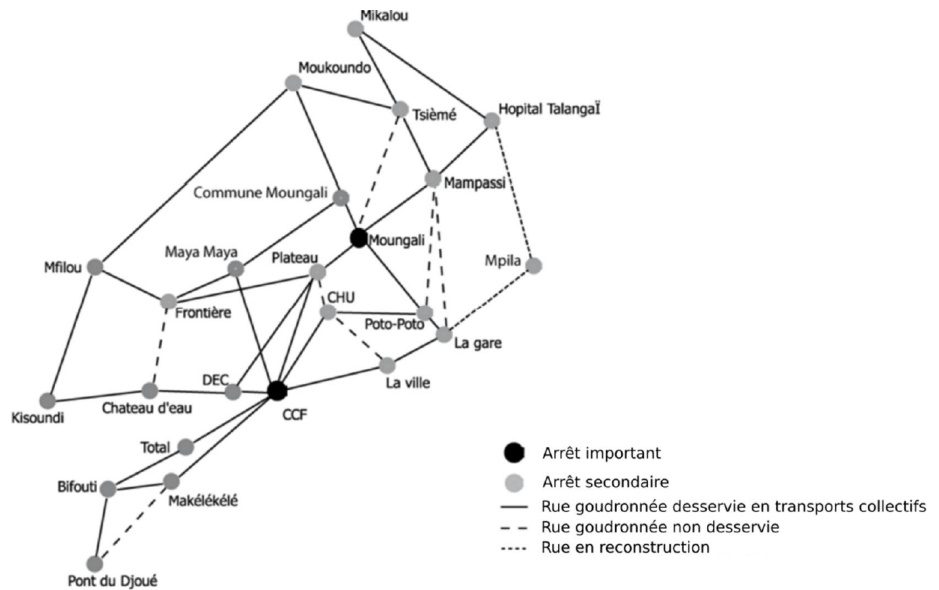
3. MODÉLISATION MULTI-AGENTS APPLIQUÉE AU CAS BRAZZAVILLOIS

Dans le cas de Brazzaville, et des systèmes de transports artisanaux de façon plus générale, l'approche individu centrée est particulièrement adaptée (LAMMOGLIA, 2013). En effet, ces transports en commun se caractérisent, entre autres, par la grande autonomie des équipages de véhicule dans l'opération du service (GODARD, 2002). Concrètement, la desserte repose sur les décisions prises par le chauffeur et le crieur.

Une modélisation multi-agents appliquée au cas de Brazzaville permet de préciser les caractéristiques de la desserte. A partir du niveau individuel, nous analysons les répercussions sur les structures globales. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps identifié les points de bifurcation sur le réseau. Ces points constituent les éléments annoncés par les crieurs afin de déterminer et communiquer leur trajet. Ils correspondent aux principaux arrêts de bus de la ville. Ils constituent à la fois des points de repère pour la communication entre usagers et crieurs et également des points de bifurcations stratégiques pour ces derniers. En effet, les changements de direction ont lieu à ces arrêts. Ces points, représentés sur la Figure 3, sont implémentés dans le système multi-agent à partir du graphe proposé en Figure 8.

La dimension très appliquée de ce modèle restreint les variables disponibles pour tester des configurations. Dans le cas présent, notre parti-pris de modélisation est centré sur la stratégie de gestion des itinéraires et sur ces implications dans le cas de Brazzaville (Figure 9). Certaines variables sont fixées de manière la plus réaliste possible pour conserver le caractère très appliqué de la modélisation. D'autres variables dites « entrantes » sont modifiées selon un plan d'expérience qui vise à observer l'évolution des variables « sortantes ». Nous pouvons ainsi tester l'adaptation de la stratégie de gestion des itinéraires à Brazzaville dans plusieurs situations. Indépendamment de la dimension expérimentale de la modélisation, la construction de ce modèle nous permet de souligner les caractéristiques spécifiques des stratégies des équipages de véhicules à Brazzaville.

Figure 8 : Graphe des points de bifurcation du système brazzavillois



3.1. CONSTRUCTION DU MODÈLE

La grande liberté des équipages de véhicules dans l'opération du service est principalement liée aux relations entre les différents acteurs du système. Les équipages louent le véhicule et n'ont aucune obligation concernant l'itinéraire parcouru ou les horaires de passage. Le contrôle par les autorités publiques s'arrête aux papiers du véhicule et aux mesures de sécurité minimales. La construction spatiale et temporelle de la desserte ne résulte pas d'une planification ou d'une prise de décision centralisée. Elle est laissée à la libre appréciation des chauffeurs et crieurs qui sont à bord.

Les stratégies des équipages reposent sur la gestion des itinéraires. Autrement dit, ils choisissent leur destination de manière à proposer la desserte la plus efficace possible. Il s'agit pour eux d'équilibrer la rentabilité économique et temporelle avec la qualité de service demandée par les usagers. Nos enquêtes³ ont permis de définir précisément les ressorts des stratégies des

³ Une série d'entretiens a été effectuée en mars 2013 et en février 2014 auprès de 40 chauffeurs et crieurs à Brazzaville. L'objectif de ces entretiens était de comprendre finement leurs stratégies et d'analyser les processus de choix sur lesquels elles reposent. Ces enquêtes ont été menées en plusieurs phases. A la suite de l'élaboration des questionnaires, plusieurs journées d'observation participante ont été effectuées pour vérifier le bien-fondé de nos items. Nous avons suivi trois équipages, chacun tout au long d'une journée de travail. Nous avons ensuite mené une série d'entretiens dans les bus, au cours du service. Cette deuxième phase de deux semaines a été suivie, après saisie et analyse des réponses, par une troisième phase permettant de compléter les informations et d'éclaircir certains points. Ces précisions ont été obtenues en quelques jours et concernent notamment les processus de choix.

équipages. Au moment de choisir une destination, ils consultent les usagers qui attendent, avant de confronter les destinations les plus demandées à leur représentation de la ville. Ainsi, ils vont effectuer le déplacement le plus demandé et qu'ils pensent être le plus rentable. Même si les arrêts du centre-ville ont globalement une image positive, chaque équipage construit sa propre représentation de l'espace. Par exemple, certains préfèrent éviter les arrêts centraux trop fréquentés et se tournent vers leur quartier d'origine ou des zones isolées où la circulation est fluide et la demande faible mais peu satisfaite. La construction de ces représentations est progressive, elle repose sur l'expérience de chaque équipage.

Figure 9 : Tableau ODD (GRIMM et alii, 2006) du modèle

| | | |
|----------------|------------------------------|--|
| | Objectifs | Tester l'adaptation des transports brazzavillois |
| Vue d'ensemble | Variables d'état et échelles | La modélisation a lieu à l'échelle de l'agglomération de Brazzaville. Les variables d'état à l'échelle globale sont : le rendement et la répartition spatiale de la desserte. |
| | Processus | Les différents processus qui prennent place dans le modèle s'enchaînent de la façon suivante : génération de l'environnement et de la demande, desserte par l'action des agents-bus (Figure 10) et bilan par la mise à jour des différentes variables. Les deux dernières étapes se répètent alternativement autant de fois que programmé par l'utilisateur. |
| Concepts | Principaux concepts | Auto-organisation |
| | | Émergence |
| | | Stochasticité |
| | Initialisation | Voir Figure 12 |
| Détails | Variables d'entrée | Voir Figure 11 |
| | Variables de sortie | Voir Figure 11 |

L'algorithme que nous avons construit se traduit comme suit dans le comportement des agents-bus (Figure 10). Ceux-ci établissent un classement des meilleures destinations en fonction des bénéfices réalisés à chaque déplacement. Ainsi, chaque agent-bus a une représentation de son environnement qui permet d'ajuster les choix de destination au-delà d'une simple réponse à la demande. De cette manière, ils construisent chacun leur expérience du réseau qui repose sur leur appréhension de leur environnement direct.

Concrètement, à chaque déplacement, les bus mettent à jour le score de chaque arrêt (S_a) de cette façon :

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

où :

P_t correspond à un ticket ;

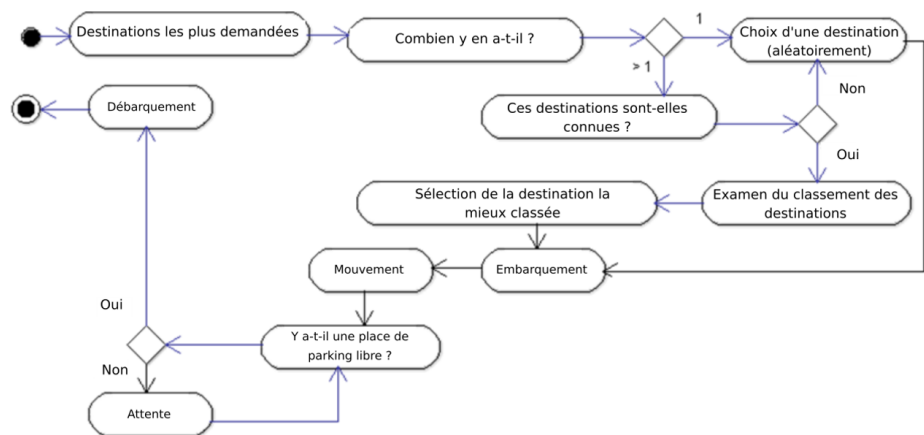
T correspond au prix du temps, c'est-à-dire le coût d'une minute en taxes et frais de location... Cette variable nous permet de donner une valeur au temps passé dans les embouteillages ;

P_l correspond au prix du lien parcouru, chaque lien ayant un coût qui est basé sur le prix du carburant nécessaire pour parcourir sa longueur ;

S_{a0} correspond au score de l'arrêt au précédent passage.

Au moment du choix, les destinations les mieux classées sont choisies en priorité.

Figure 10 : Diagramme d'activité des agents-bus



L'environnement de circulation de ces agents-bus est composé de deux éléments principaux. Le premier spatiale le réseau d'arrêts de bus reliés entre eux par des rues. Une base de données géoréférencées des arrêts issue d'un relevé de terrain est implémentée. Les arrêts disposent chacun d'un nombre de places disponibles qui limite le nombre de bus qui peuvent charger des passagers simultanément. Ces points sont reliés entre eux pour construire un graphe (Cf. Figure 8). Chaque lien est pondéré par la longueur de la rue dans la réalité. La seconde série de données est issue de l'enquête auprès des usagers. Des agents-usagers sont générés à chaque arrêt de bus avec un arrêt de destination, en fonction des données enquêtées.

Le contexte du modèle est donc construit afin de retranscrire les distances et les configurations spatiales mais également la dimension temporelle. La vitesse de circulation des bus est indexée sur la vitesse de circulation moyenne en ville. Chaque rue est parcourue plus moins rapidement en fonction de sa longueur. Nous avons testé ce modèle dans des configurations d'entrée réalistes. Autrement dit, les données de demande, de prix et de structures spatiales du réseau sont directement issues du terrain. D'autre part, nous avons collecté des données de fréquences grâce à plusieurs journées de comptages en 2014. Les simulations tests montrent un écart inférieur à 10 %

par rapport à ces données. Nous considérons donc que les sorties du modèle sont réalistes.

3.2. PLAN D'EXPÉRIENCES : CONFIGURATIONS TESTÉES

Afin d'analyser les différentes dimensions des stratégies des transporteurs artisanaux, nous générons un certain nombre de simulations. Celles-ci reposent sur des variables d'entrée fixes, indexées sur nos enquêtes et sur des variables d'entrée ajustables qui permettent de tester l'évolution des variables de sortie (Figure 11). Ces dernières sont réparties selon trois types d'efficacité : économique, spatiale et du service aux usagers.

Figure 11 : Tableau des variables du modèle

| Variabes | Entrées | Sorties |
|----------|--|--|
| Fixes | Stratégie de gestion des itinéraires des agents-bus | |
| | Quantité et répartition spatiale de la demande | |
| | Capacité, configuration spatiale et temporelle du réseau | / |
| | Paramètres économiques : prix du ticket, frais kilométriques et taxes journalières | |
| Mobiles | Quantité d'agents-bus | Répartition spatiale de la desserte Nombre d'usagers desservis par l'ensemble des bus au cours de la simulation |

Les simulations s'effectuent dans un contexte où le système peut accueillir 119 bus sur la totalité de ses arrêts et génère 10 660 usagers au total sur la journée. La demande est issue des origines/destinations de notre enquête. Celle-ci est fixée et les usagers modélisés n'ont pas de choix modal à leur disposition. Ce modèle s'intéresse à l'offre de transport, les structures de la demande ne sont pas prises en compte au-delà de leur dimension spatiale. Il s'agit donc d'un aspect du modèle qui reste fixe.

Pour l'aspect économique, le kilomètre parcouru et le pas-de-temps écoulé coûtent 50 FCFA chacun. Chaque passager transporté rapporte 150 CFA. Afin de ne pas avoir de biais induit par la situation initiale, les agents-bus sont répartis au départ de manière homogène sur le réseau.

Les tests de sensibilité que nous effectuons à l'aide de la variable de quantité d'agents-bus, « Nombre de bus », impliquent de nombreuses caractéristiques du système. Dans un contexte réaliste, la seule variable qui ne concerne que le système de transport en lui-même est celle-ci. D'autre part, la variation de la quantité d'agents-bus influe en réalité sur plusieurs dimensions du modèle.

La première dimension est la saturation du réseau. Le nombre de places disponibles aux arrêts est fixé sur la réalité. Une augmentation du nombre de bus crée une diminution du nombre de places aux arrêts. Le réseau est plus rapidement saturé et des embouteillages commencent à apparaître. Finalement, augmenter le nombre d'agents-bus ou réduire la capacité du réseau revient au même.

La seconde dimension concerne la relation à la demande. Cette dernière est estimée par nos enquêtes. La présence plus ou moins importante d'agents-bus change le rapport entre le nombre d'usagers désirant se rendre à une destination ou à une autre et le nombre de bus pour les y emmener. Il semblerait sensé d'imaginer qu'une augmentation du nombre de bus permettrait d'augmenter la desserte de toutes les destinations. Cependant, l'agrégation de besoins individuels pour un déplacement collectif implique un certain équilibre entre l'offre et la demande. Celui-ci ne passe pas forcément par une augmentation du nombre de véhicules disponibles. La variation du nombre de bus revient à changer ce rapport offre/demande.

Afin d'approfondir ces différents aspects, 1 000 simulations ont été effectuées pour chacune des 5 situations initiales définies (Figure 12). Ces simulations permettent deux lectures de ces expériences. La première lecture se concentre sur la série de simulations à 21 bus. Elle correspond à la configuration la plus réaliste. Cette série nous a permis de conforter la plausibilité de notre modèle. Elle nous permet également de connaître certaines caractéristiques non-observables de notre système. La deuxième lecture s'intéresse à l'adaptabilité du système. En comparant les différentes configurations entre elles, nous pouvons mesurer les écarts entre chaque contexte.

Figure 12 : Synthèse des situations initiales

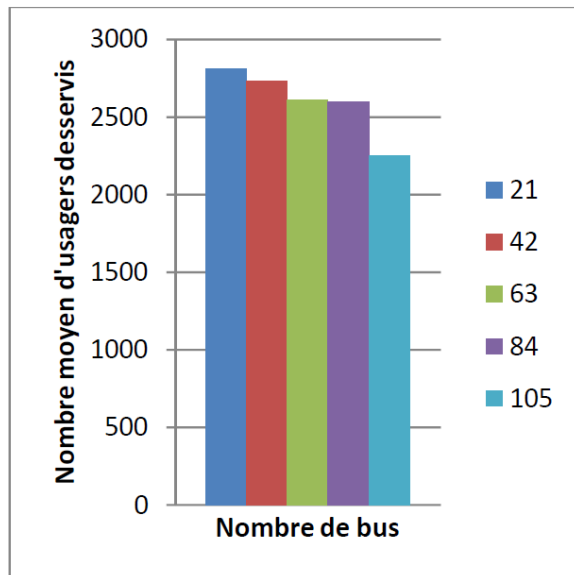
| Nombre de bus | Places de parking disponibles par bus sur l'ensemble des arrêts | Nombre d'usagers potentiels par bus pour la totalité de la simulation | Nombre de simulations effectuées |
|---------------|---|---|----------------------------------|
| 21 | 6 | 508 | 1 000 |
| 42 | 3 | 254 | 1 000 |
| 63 | 2 | 169 | 1 000 |
| 84 | < 2 | 127 | 1 000 |
| 105 | < 2 | 102 | 1 000 |

3.3. RÉSULTATS

Les résultats de ces simulations sont représentés sur les Figures 13 à 15. Nous pouvons d'ores et déjà constater que la variable sélectionnée a une influence sur les différentes sorties du modèle, quelle que soit la variable de sortie considérée.

La configuration la plus réaliste, qui correspond à 21 bus⁴, semble être la plus efficace. Le nombre d'usagers desservis au cours d'une simulation est le plus important (Figure 13). La double dimension de saturation du réseau et de correspondance entre l'offre et la demande semble équilibrée dans ce cas et permettre une desserte suffisante. Finalement, l'augmentation du nombre de bus ne permet pas d'avoir une desserte plus efficace en termes de nombre d'usagers desservis. Autrement dit, le fait que chaque bus ait, dans l'absolu, moins d'usagers à desservir ne permet pas que ces usagers arrivent en plus grand nombre à destination. La saturation du réseau est rapidement atteinte et la correspondance entre offre et demande ne la compense pas.

Figure 13 : Nombre moyen d'usagers desservis-Variation usagers/bus



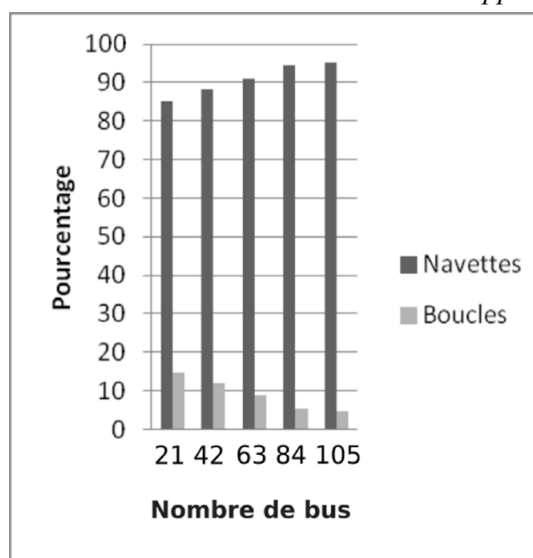
La variété des structures spatiales de la desserte montre que la stratégie de gestion des itinéraires est bien adaptée à un faible nombre de bus (Figure 14). Les itinéraires tracés prennent des formes complémentaires entre boucles et navettes⁵. Les structures répétées plusieurs fois montrent que la

⁴ La variable « Nombre de Bus » peut être représentée de deux manières. Dans un premier temps nous travaillons avec le nombre de bus : 21, 42, 63... Ce nombre correspond à 1, 2, 3... bus par arrêt de bus en situation initiale. Les véhicules sont ainsi répartis de manière homogène au départ. Dans un second temps nous travaillons sur le rapport entre le nombre d'usagers et le nombre de bus. La demande étant fixée à partir de nos enquêtes, le nombre d'usagers ne varie pas entre les simulations. L'augmentation du nombre de bus fait varier ce rapport en diminuant le nombre d'usagers par bus. Ainsi la situation initiale avec 21 bus équivalait à 508 usagers par bus au cours d'une simulation.

⁵ Les boucles sont des itinéraires de type A-B-C-D-A-B-C-D-A... Le bus relie de façon cyclique des arrêts toujours dans le même ordre. Les navettes sont des itinéraires du type A-B-C-B-A-B-C-B-A... Le bus fait des allers-retours entre plusieurs arrêts en faisant demi-tour à chaque extrémité de son itinéraire.

desserte se stabilise et prend une forme plus définie. Même si tous les arrêts sont toujours desservis, une certaine répartition s'effectue entre les bus et leurs trajets sont stabilisés. D'autre part, la proportion la plus élevée de navettes correspond à la situation où le plus grand nombre d'utilisateurs est desservi. Ainsi ce système se stabilise avec une répartition des types d'itinéraires entre les véhicules et cela permet la desserte d'un plus grand nombre d'utilisateurs. Ce processus a lieu lorsque le nombre de bus n'est pas trop important.

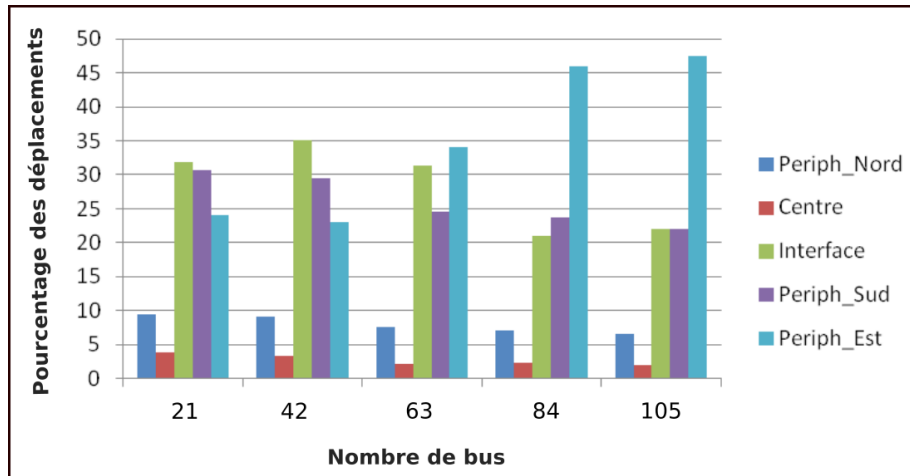
Figure 14 : Structures des itinéraires-Variation du rapport usagers/bus



La stratégie de gestion des itinéraires permet une exploration du réseau par les bus. Quand leur nombre n'est pas trop important, la totalité des arrêts sont parcourus par les véhicules. D'une certaine façon, ils se repoussent les uns les autres pour rechercher toujours des utilisateurs non desservis, et donc des arrêts nouveaux.

Du point de vue de la répartition spatiale de la desserte (Figure 15), quand le nombre de bus augmente, la périphérie Est est desservie plus souvent, au détriment de la périphérie Sud et des arrêts qui servent d'interface entre les différentes zones. Ces deux dernières zones sont constituées d'arrêts plus petits et/ou très fréquentés du fait de leur position sur le réseau. Ils sont plus facilement saturés par les bus en attente d'embarquer des passagers. Une nouvelle fois, la structure spatiale la plus équilibrée correspond à celle où le plus grand nombre d'utilisateurs sont desservis. Il s'agit des trois situations où le nombre de bus est le moins important et où il y a le plus d'utilisateurs à desservir pour chaque bus (21, 42 et 63 bus, soit 508, 254 et 169 utilisateurs par bus au départ).

Figure 15 : Répartition des déplacements des agents-bus
Variation du rapport usagers/bus



Finalement, ce modèle met en avant un certain nombre de caractéristiques des systèmes de transports qui fonctionnent par gestion des itinéraires. Ceux-ci s'adaptent particulièrement bien à un faible nombre de bus. Dans le cas de Brazzaville, la forme et la capacité du réseau semble efficace autour d'un bus pour 508 usagers. Cette configuration du système permet d'avoir une bonne répartition de la desserte dans l'agglomération. Il s'agit de la proportion qui correspond le plus à la réalité des transports artisanaux brazzavillois. Le système observé se maintient dans cette situation sub-optimale. Nos simulations montrent qu'une augmentation du nombre de véhicules n'améliorerait pas le fonctionnement des transports artisanaux et c'est dans cette situation que le système s'équilibre dans la réalité.

Ainsi, les stratégies individuelles sur lesquelles reposent les transports collectifs de Brazzaville permettent la mobilité quotidienne dans l'agglomération grâce à leurs caractéristiques adaptatives.

4. VERS DES TRANSPORTS URBAINS FLUIDES : LA PLACE DU TRANSPORT ARTISANAL

Les qualités d'adaptation des transports collectifs artisanaux ne font cependant pas oublier leurs limites. Manifestations de la ville néolibérale, ces systèmes ont les qualités et les défauts économiques des modèles non-réglementés. Le secteur fournit de nombreux emplois mais ce sont des emplois précaires et faiblement qualifiés (CERVERO, 2000). La course à la rentabilité entraîne une qualité de service inégale : les zones les moins rentables sont moins bien desservies (WESTER, 2014).

Cependant, ces problématiques pourraient être dissociées de la faculté d'adaptation de ces transports. La flexibilité de la desserte des transports

artisansaux permet l'émergence d'un service de transport collectif particulièrement adapté à la demande et à un contexte urbain en transformation permanente. Ce type d'organisation permet une certaine fluidité de circulation au sein du système de transport collectif et de l'espace urbain⁶. Malgré une qualité de service inégale, la desserte est présente partout et l'ensemble de l'espace urbain, quartiers les plus défavorisés compris, dispose de solutions de mobilité. Les véhicules circulent en fonction des évolutions de leur environnement et ils construisent ainsi des transports en commun sans planification. Le système s'adapte particulièrement à son environnement et une desserte multimodale émerge dans le cas de Brazzaville. Elle repose sur la complémentarité spatiale entre les différents modes et sur l'adaptation des itinéraires grâce aux stratégies des équipages de véhicules. La structure ainsi créée fournit une alternative aux modèles centralisés et planifiés. En tant qu'élément de la ville informelle, ces transports constituent également une certaine forme d'appropriation de l'espace public urbain par des populations exclues de l'économie de marché. En prenant une place aussi importante dans la mobilité quotidienne de l'agglomération, les transports artisansaux sont devenus indispensables au bon fonctionnement de Brazzaville. A la fois solution palliative à l'absence de politique de transport public concerté, et générateur de nouveaux espaces urbains, les transports artisansaux suivent et génèrent les évolutions structurelles de la ville.

Diverses expériences ont montré que la mise en place de systèmes de transport institutionnels sans prise en compte des transports artisansaux ne fonctionne pas. La force de l'habitude des usagers couplée au nécessaire manque de réactivité d'un système de transport centralisé, et donc en partie figé, ont conduit à l'échec systématique de solutions contrôlées et gérées par les pouvoirs publics. En partant de l'existant et de ses atouts, des propositions peuvent s'orienter vers la sécurisation des emplois et la stabilisation de la desserte des zones peu rentables sans pour autant détruire les propriétés émergentes de ces transports. La nécessité d'amélioration de ces systèmes n'est cependant pas remise en cause.

L'enjeu de la valorisation de ces formes de transport réside dans la construction de projets intégrés et la prise en compte des solutions générées par ces systèmes alternatifs. Nous avons compris que la flexibilité de la desserte est le principal atout des transports artisansaux. Comment conserver cette flexibilité tout en œuvrant pour la sécurisation des emplois, le service en zones peu rentables et la rénovation des véhicules ? Les qualités de ces systèmes sont-elles liées indéfectiblement à leur caractère informel ?

⁶ Le modèle présenté ici tient uniquement compte du contexte urbain brazzavillois et de son système de transports collectifs. La circulation et les embouteillages présents en dehors de ce système (transports individuels en automobile, taxis ou motos) ne sont pas pris en compte pour l'instant. Ce pourrait être une voie d'amélioration de ce modèle.

BIBLIOGRAPHIE

- ASCHER F. (2010) Les sens du mouvement : modernité et mobilité. In ALLEMAND S., ASCHER F., LÉVY J. (éds) **Les sens du mouvement. Modernité et mobilité dans les sociétés urbaines contemporaines**. Paris, Belin, pp. 21-36.
- AUDARD F., PEREZ J., WESTER L., GRONDEAU A. (2012) Système de transport en commun et auto-organisation. Le cas de Brazzaville. Communication à la **CODATU XV**, Addis Abeba, 18 p.
- BARCELO M. (1999) **Les indicateurs d'étalement urbain et de développement durable en milieu métropolitain**. Rapport de recherche, Institut d'Urbanisme de l'Université de Montréal, 50 p. (Cahier n° 99-06).
- BOURDIN A. (2007) **Mobilité et écologie urbaine**. Paris, Descartes & Cie.
- DIAZ OLVERA L., PLAT D., POCHEP P. (2002) Étalement urbain, situations de pauvreté et accès à la ville en Afrique subsaharienne, l'exemple de Niamey. In BUSSIÈRE Y., MADRE J.-L. (éd) **Démographie et transport : Villes du Nord et villes du Sud**. Paris, L'Harmattan, pp. 147-175.
- DIAZ OLVERA L., PLAT D., POCHEP P. (2012) Mobilité et accès à la ville en Afrique Subsaharienne. Communication à la **CODATU XV**, Addis Abeba (<http://www.codatu.org/bibliotheque/mobilite-et-acces-a-la-ville-en-afrique-subsaharienne-fr/>).
- DIAZ OLVERA L., PLAT D., POCHEP P., SAHABANA M. (2005) Mobilité et pauvreté en Afrique sub-saharienne : éclairages à partir de quelques enquêtes ménages. In ADOLÉHOUMÉ A. (Ed.) **Mobilité et systèmes de transport en Afrique sub-saharienne : les défis de la pauvreté (Actes du SITRASS 7)**. Saly (Sénégal), Dakar-Lyon-Arcueil, MIET-IRD-LET-INRETS, pp. 277-289.
- DIAZ OLVERA L., PLAT D., POCHEP P., SAHABANA M. (2010) Entre contraintes et innovation : évolutions de la mobilité quotidienne dans les villes d'Afrique subsaharienne. **Espace populations sociétés. Space populations societies**, n° 2-3, pp. 337-348 (doi:10.4000/eps.4206).
- DUPUY G. (1995) **Les territoires de l'automobile**. Paris, Economica, 216 p. (Coll. Villes).
- 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 X. (2009) Variété des systèmes de mobilité urbaine face aux enjeux de développement et d'environnement. In **Actes**, Ghardaïa, ENP édition, pp. 131-142.
- GRIMM V., BERGER U., BASTIANSEN F. (2006) A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. **Ecological Modelling**, n° 198, pp. 115-126.

- GUÉZÉRÉ A. (2013) Deux roues motorisées et étalement urbain à Lomé, quel lien avec la théorie des « trois âges » de la ville ? **Noréis**, n° 226, pp. 41-62.
- KAMDEN P. (2007) 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. In **Colloque International IVM**, Lisbonne, Institut pour la Ville en Mouvement, 17 p.
- LAMMOGLIA A. (2013) **Analyse et modélisation multi-agents de transports flexibles : comparaison de services français et sénégalais**. Thèse de doctorat en Géographie, Avignon (<http://www.theses.fr/2013AVIG1120>).
- LOMME R. (2004) La réforme des transports publics urbains à l'épreuve de l'intégration du secteur informel. **Afrique contemporaine**, n° 210, pp. 79-94 (doi:10.3917/afco.210.0079).
- MERLIN P. (1998) **Les banlieues des villes françaises**. Paris, La Documentation Française, 210 p.
- MOUNOUTCHY B.-W. (2008) **Les périphéries urbaines des villes d'Afrique Noire, réflexion et essai de définition à partir d'un cas paradigmatique : Dakar**. Thèse de doctorat en Aménagement et Urbanisme, Université de Tours, 342 p.
- NEWMAN P., KENWORTHY J.R. (1996) Formes de la ville et transports : vers un nouvel urbanisme. **Les cahiers de l'IAURIF**, n° 114-115, pp. 99-109.
- ROCHA M. (2013) Au nom du (transport) collectif : quand une crise de la mobilité reflète une crise du public. **Urbanités**, n° 2.
- TABUTIN D. (2004) La démographie de l'Afrique au sud du Sahara des années 1950 aux années 2000. **Population**, n° 59, pp. 521-622.
- WIEL M. (2002) **Ville et automobile**. Paris, Descartes et Cie, 140 p. (Coll. Les urbanités).