

Développement d'un modèle multimodal de déplacements au CETUD pour mieux répondre aux enjeux de la mobilité urbaine durable

Thierno B. AW¹, Mamadou BALDE², Khadim CISSE³, Ibrahima NDIAYE⁴, Didier REVILLON⁵, Arthur SEBES⁶

Résumé :

Pour mieux anticiper les grands enjeux de la mobilité dans l'agglomération dakaroise, le CETUD (Conseil Exécutif des Transports Urbains de Dakar) se dote actuellement d'un modèle multimodal de prévision des déplacements. La mise au point de cet outil, développé par le groupement setec-CUREM (Centre Universitaire de Recherche et d'Etude de la Mobilité de l'École Supérieure Polytechnique de Dakar), est rendue possible par l'existence d'une Enquête Ménage Déplacement de grande qualité, l'EMTASUD (Enquête ménages sur la mobilité, le transport et l'accès aux services urbains dans l'agglomération de Dakar réalisée en 2015 par le CETUD). L'exploitation initiale de l'enquête a permis d'établir une photographie des pratiques de mobilité de l'agglomération où la marche à pied est le mode dominant (70% des déplacements), suivie par les transports collectifs incluant les taxis (près de 22% des déplacements) et les modes individuels (4,5% des déplacements).

Le modèle en cours d'élaboration devra traiter ces différents modes et tenir compte de la part importante (41%) que représente le transport artisanal ou informel dans les déplacements en transports collectifs. Cela nécessite notamment d'être en mesure d'identifier l'offre de transport artisanal afin de la retranscrire dans l'outil de modélisation. Les données d'usage figurant dans l'EMTASUD seront spécifiquement analysées à cette fin.

En matière d'offre de transport, le modèle doit également permettre d'accompagner les profonds bouleversements que vont représenter les mises en service de la ligne pilote de « Bus Rapid Transit » (BRT) et du Train Express Régional (TER) : la refonte du réseau de bus pour le rabattement sur ces transports de masse et la problématique de la tarification des transports collectifs sont en effet cruciales pour la réussite de ces projets.

Mais au-delà de ces questions d'offre de transport, les évolutions socio-démographiques et urbaines constituent un enjeu majeur pour la mobilité à Dakar. Afin que le modèle soit en mesure de les prendre en compte, des analyses approfondies de l'EMTASUD ont été réalisées : elles portent sur les pratiques de déplacements (chaînes d'activités, boucles de déplacements, parts modales) de différentes catégories de Dakarois (actifs, élèves, étudiants, non actifs, ménagères...). La problématique de la motorisation est également abordée car, si la part modale des transports individuels est aujourd'hui limitée, elle est susceptible d'évoluer rapidement à

¹ CETUD, Dakar, Sénégal, thierno.aw@cetud.sn

² CUREM, Dakar, Sénégal, mbalde111@yahoo.com

³ CETUD, Dakar, Sénégal, khadim.cisse@cetud.sn

⁴ CUREM, Dakar, Sénégal, cheikmouridee@yahoo.fr

⁵ setec International, Paris, France, didier.revillon@setec.com

⁶ setec International, Paris, France, arthur.sebes@setec.com

moyen terme avec l'accroissement des revenus des ménages : cette augmentation aura un effet direct sur le niveau de congestion du réseau de voirie qui est déjà important aux périodes de pointe. En complément des évolutions socio-démographiques, les hypothèses de développement urbain ainsi que les scénarios élaborés dans le cadre du Plan de Mobilité Urbaine Soutenable à venir viendront alimenter l'outil qui sera implanté au CETUD après formation de ses personnels. Dans le cadre du Master Mobilité, Transport et Logistique organisé par le CUREM, il est également envisagé d'utiliser l'outil pour aborder de façon pratique les thèmes de la modélisation multimodale et de la planification des transports.

Mots clés :

Modèle multimodal, « Bus Rapid Transit », Enquête ménage déplacement, Transport artisanal, Mobilité urbaine durable

1. Introduction

Cet article s'inscrit dans une étude encore en cours au moment de sa rédaction. Le groupement setec-CUREM réalise en effet pour le compte du CETUD un modèle multimodal de déplacements pour l'agglomération de Dakar. Le but de ce modèle est de fournir au CETUD un outil de planification performant et d'aide à la décision dans la gestion de l'offre et de la demande de transport. Il s'inscrit ainsi dans l'histoire du CETUD qui, depuis sa création en 1997, s'est efforcé d'organiser les différents systèmes de transport de Dakar en un ensemble cohérent.

L'article commence par rappeler le contexte historique des transports à Dakar, depuis une période de dérégulation dans les années 90, à sa reprise en main progressive par le CETUD durant les deux dernières décennies, jusqu'à la période des grands projets (TER, BRT...) aujourd'hui. Nous discutons ensuite de la nécessité pour le CETUD de renforcer ses outils de planification pour mieux prévoir les conditions de mobilité dans l'agglomération dakaroise sur le long terme, dans un contexte d'expansion démographique et de développement économique. Nous présentons enfin les avantages et les limites d'un modèle multimodal pour répondre aux défis que posent les évolutions de la mobilité à Dakar, et, enfin, les réponses que le modèle en développement compte apporter à ces questions.

2. Le contexte historique de la mobilité à Dakar

Le développement des transports urbains à Dakar, processus complexe comme dans la plupart des grandes villes africaines, est marqué à la fois par une régulation publique forte et une délégation au secteur privé (Lombard, 2006). Après l'indépendance du Sénégal, l'organisation des transports est l'apanage de la puissance publique ; le transport informel est relégué loin du centre-ville (le Plateau) et durement combattu. Les années 70 voient ensuite une plus grande tolérance envers le secteur privé (les cars rapides et ndiaga ndiaye) opérant sur des itinéraires qui cohabitent avec le réseau de transport public (la Sotrac, Société de Transport du Cap-Vert), avec notamment l'adoption d'un schéma de coexistence entre le transport informel et la Sotrac en 1973 (CETUD, 2020). La décennie qui a suivi est marquée par une dérégulation progressive des transports et une croissance démographique et urbaine forte de l'agglomération dakaroise. Cette situation va se poursuivre jusque dans les années 90 avec comme conséquence la faillite de la Sotrac en 1998 et un développement très rapide des transports informels qui vont atteindre 95% de part de marché des transports en commun, alors que cette proportion n'était que de 18% en 1980. Un principe de réorganisation des transports publics est alors adopté en 1992 lors d'un séminaire regroupant l'ensemble des acteurs du transport dakarois sous l'égide de la Banque Mondiale. Cela débouche en 1997 sur la création du CETUD qui a pour mission d'organiser et de réguler l'ensemble du transport public urbain de voyageurs à Dakar. Les externalités négatives liées au transport routier engendraient déjà en 1998 des surcoûts très élevés pour la collectivité, jusqu'à 108 milliards de francs CFA, soit presque 3% du PIB national (Diongue, 2012; CETUD, 2020; Lombard, et al., 2006).

Avec un transport informel omniprésent au début des années 2000 (95% du transport public en 2000 pour rappel), le CETUD, Etablissement public à caractère professionnel, entame le processus de modernisation des transports publics à Dakar. Il s'appuie dans un premier temps

sur le nouvel opérateur de transport public, la société Dakar Dem Dikk (DDD), créée en 2000 pour remplacer la Sotrac. A partir de 2005, un effort important est fait pour réguler le transport informel avec la création de l'AFTU (Association de Financement des Professionnels du Transport Urbain) qui regroupe différents Groupements d'Intérêt Économique (GIE) de transporteurs privés. Cette association a été pour le CETUD le véhicule privilégié pour conduire le programme de remplacement du parc de transport informel par minibus et de professionnalisation des acteurs. À terme, les véhicules de l'AFTU, intégrés au système de transport urbain régulé par le CETUD, doivent se substituer à l'ensemble des cars rapides et des Ndiaga Ndiaye (CUREM; SITRASS, 2015). Les résultats de la dernière Enquête Ménage et Déplacements réalisée pour l'agglomération de Dakar en 2015 (EMTASUD, Enquête ménages sur la mobilité, le transport et l'accès aux services urbains dans l'agglomération de Dakar) permettent de mesurer le succès du CETUD dans la reprise en main de la régulation des transports publics dans son périmètre de compétence. En effet, en combinant DDD et AFTU, 53% des déplacements en transports collectifs à Dakar sont assurés par des lignes régulées (CUREM; SITRASS, 2015), alors que, 15 ans auparavant, cette part n'était que de 5%.

Mise à part la régulation du transport public, les activités du CETUD ont été aussi marquées par une participation active aux différents exercices de planification à long terme dans l'agglomération de Dakar. A titre d'exemples, peuvent être cités le Plan de Déplacements Urbains de Dakar (PDUD) 2008-2025, la Lettre de Politique des Déplacements Urbains (LPDU) 2015-2020 ou encore le Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar 2016-2035 (PDU 2035) piloté par la Direction Générale de l'Urbanisme et de l'Architecture (DGUA).

Les études actualisant le PDUD ont été lancées cette année à travers l'initiative mondiale Mobilize Your City. Dans ce cadre, une cohérence avec le nouveau PDU (2035) sera recherchée. Par ailleurs, le CETUD met en œuvre actuellement des projets structurants pour améliorer les conditions de déplacements dans la région de Dakar, dont les plus emblématiques portent sur le projet de Bus Rapid Transit (BRT), la restructuration globale du réseau de transport en commun, la mise en place d'un système intégré d'aide à l'exploitation et d'information des voyageurs.

Ainsi, des efforts importants ont été fournis par l'Etat du Sénégal pour, d'une part, répondre à l'urgence d'une régulation du transport informel, d'autre part, procéder à une planification à court et moyen terme avec l'introduction des transports de masse en tenant compte des enjeux de développement durable inscrits dans le Plan Sénégal Emergent (PSE) horizon 2035.

3. La mobilité de demain à Dakar

Malgré les nombreux exercices de planification évoqués précédemment, Dakar souffre de la même problématique que de nombreuses agglomérations de pays en développement. La priorité a été mise ces dernières décennies sur des programmes et projets qui devaient apporter une réponse urgente aux dysfonctionnements du système de transport urbain (Helluin, et al., 2018). Désormais, le rythme de croissance démographique et urbaine de l'agglomération impose une stratégie de mobilité à long terme, favorable aux transports publics et aux modes actifs, avec le renforcement des ressources humaines et financières du CETUD.

L'action la plus visible du CETUD depuis sa création a ainsi été la reprise en main de l'organisation des transports publics par la création de structures d'encadrement et de financement.

Les trois principaux documents de planification du développement de Dakar, à savoir le PDUD, la LPDU, ainsi que le Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar et ses environs horizon 2035 (PDU) ont pour vocation de faire émerger une vision à long terme du développement de l'agglomération, avec une volonté de coordonner les politiques d'occupation des sols et de mobilité urbaine. Le PMUS devrait matérialiser cette volonté, tenant compte des deux grands projets de transport de masse en cours de réalisation (le BRT et le TER) et proposant des schémas de transports favorables à une mobilité durable dans le cadre d'une gouvernance participative.

C'est pourquoi, il est nécessaire que le CETUD se dote d'un modèle multimodal de déplacements dans l'objectif de réaliser des études prospectives, permettant d'examiner concomitamment les scénarios d'occupation des sols et de transports les plus propices à assoir une mobilité respectueuse de l'environnement et tenant compte des impératifs de performance économique et d'équité sociale.

En effet, le TER et le BRT ont fait tous deux l'objet d'études de trafic réalisées par des cabinets différents (SYSTRA, 2015; LOGIT, 2016), basées sur deux modèles indépendants élaborés pour leurs besoins spécifiques, avec des méthodes de modélisations différentes.

En outre, les conditions de circulation automobile gagneraient à mieux être représentées. Malgré une faible part dans les déplacements (3,7% de l'ensemble des déplacements, et 12,9% des déplacements motorisés, (CUREM; SITRASS, 2015)), la voiture est omniprésente dans l'agglomération dakaroise, générant de nombreuses externalités négatives qui risquent de s'accroître avec l'augmentation du taux d'équipement des ménages dans un contexte urbain où le réseau routier a atteint ses limites de capacité.

Un exercice de projection au fil de l'eau des résultats de l'EMTASUD permet de prendre la mesure des défis qui attendent les gestionnaires d'infrastructures et de services à la mobilité à Dakar. Cette simulation a été réalisée par setec International sur la base d'une méthode déjà mise en œuvre pour la municipalité de Québec, dans le cadre de la réalisation de son projet de tramway (setec International, 2013) et qui permet, sur la base d'une Enquête Ménage Déplacements, d'obtenir une photographie de la mobilité future au-fil de l'eau.

Il s'agit tout d'abord de considérer les prévisions de croissances démographiques de la région de Dakar (ANSD, 2016) et de les répartir sur l'agglomération sur la base des informations du PDU de la région de Dakar (Consortium RECS International, 2016). Cela permet d'obtenir les hypothèses démographiques suivantes :

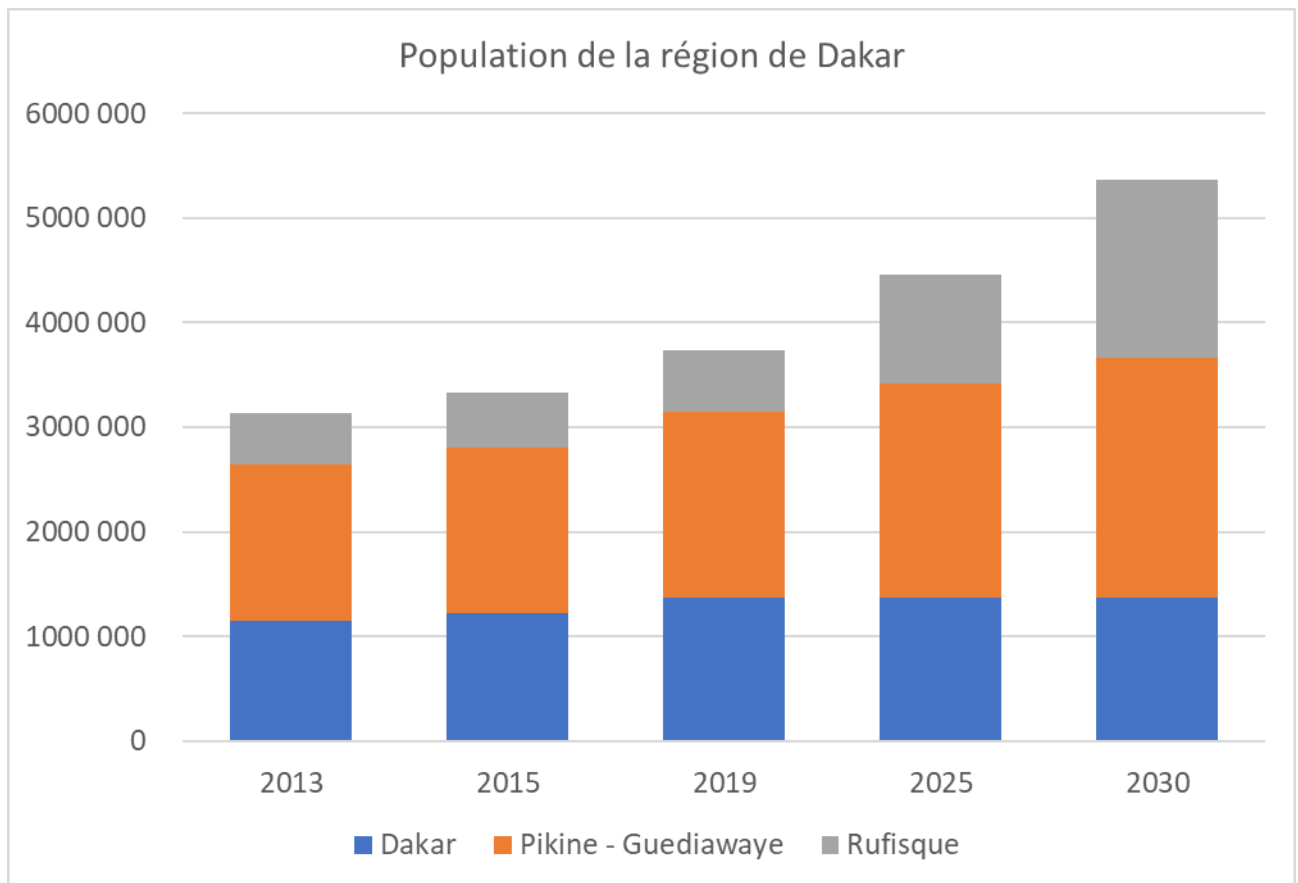


Figure 1: Hypothèse de croissance démographique dans la région de Dakar, source : setec International d'après données ANSD et PDU de Dakar

Ensuite, nous reprenons les bases de données de l'EMTASUD en ajustant les poids donnés à chaque individu enquêté par différents coefficients permettant de tenir compte de l'évolution de la population, du taux de motorisation et du revenu. Les hypothèses de l'évolution du revenu national basées sur celles du FMI jusqu'en 2024 (FMI, 2019) et celle de la motorisation sont issues d'une régression réalisée par setec sur la base de données historiques de l'ANSD (ANSD, 2005-2019). Le nouveau poids donné à un déplacement pour une année 20xx est ainsi donné par :

$$P_{20xx,i} = P_{2015,i} \times \left(\frac{Pop_{20xx}}{Pop_{2015}} \right)_{I \ni i} \times \left(\frac{Rev_{20xx}}{Rev_{2015}} \right)_{I \ni i} \times \left(\frac{Moto_{20xx}}{Moto_{2015}} \right)_{I \ni i}$$

Où

$P_{20xx,i}$ est le poids associé à l'individu i , appartenant au segment de population I , pour l'année 20xx,

$Pop_{20xx,I \ni i}$ est la population du segment de population I pour l'année 20xx,

Rev désigne le niveau de revenu,

et Moto le taux de motorisation.

En appliquant cette méthode, on peut ainsi estimer que la demande de déplacements en 2030 pour un jour moyen de semaine serait d'environ 12 400 000 déplacements, lorsque cette demande était d'environ 7 200 000 déplacements en 2015 dans l'EMTASUD. Cela représente une augmentation de 72% de la demande en 15 ans, quand la poussée démographique est de l'ordre de +61%.

La hausse du revenu ainsi que du taux de motorisation accroissent le niveau de mobilité des dakarois. Cette hausse ne se fait d'ailleurs pas uniformément sur les différents modes de transport. Le nombre de déplacements mécanisés augmente ainsi plus vite que la part des modes actifs (80% pour les premiers contre 69% pour les seconds), et comme exprimé dans le graphique ci-dessous, cette hausse est portée essentiellement par la voiture :

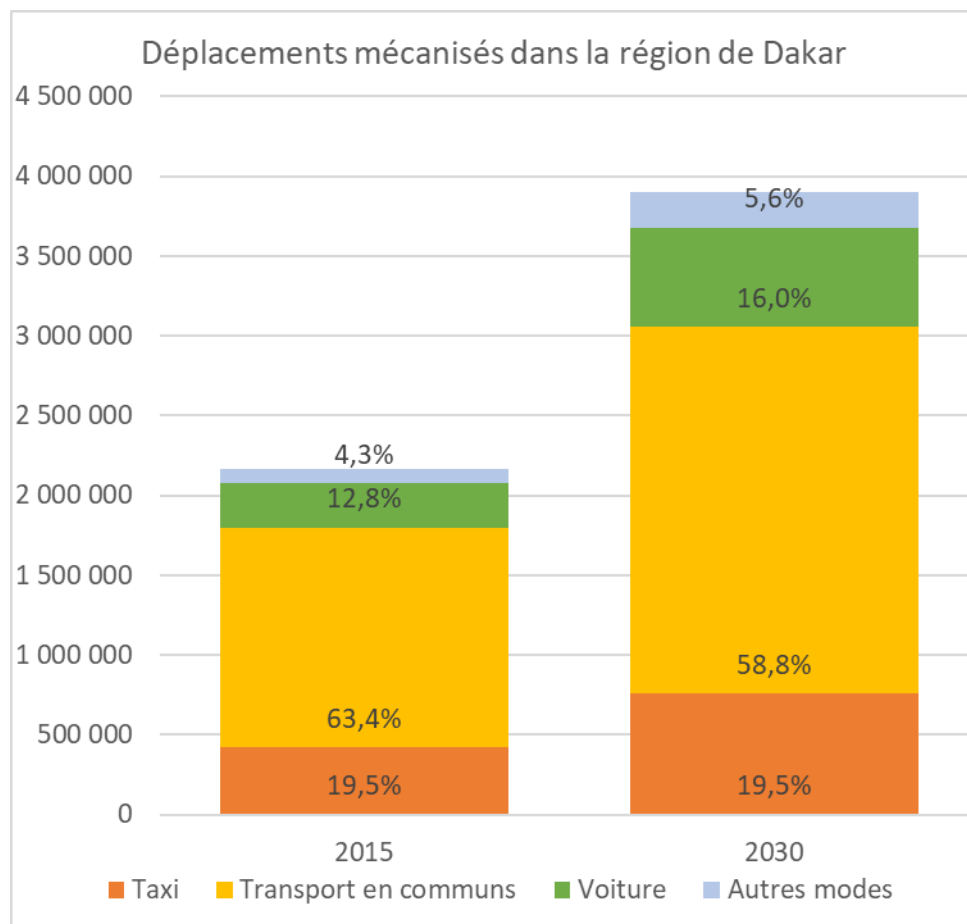


Figure 2: Déplacements en modes mécanisés en 2015 (EMTASUD) et en situation fil de l'eau 2030 (projections setec)

La part de la voiture augmente significativement dans le nombre des déplacements mécanisés. Ainsi, si les déplacements en transport en commun augmentent de 67% entre 2015 et 2030, ceux effectués en voiture font plus que doubler, en augmentant de 125%.

Cet exercice de projection est bien sûr très sommaire, puisqu'il ne considère pas de changement de comportement pour un segment de population et surtout qu'il ne prend pas en compte les changements majeurs qui vont subvenir d'ici 2030 dans les réseaux de transport. Il permet cependant de se rendre compte de l'importance qu'il y a à anticiper la demande de déplacements dans l'avenir et à intégrer dans l'analyse l'ensemble des modes de

déplacement. Le réseau routier est déjà saturé en de multiples endroits et il est difficile d'imaginer que sa charge pourrait aller jusqu'à doubler, surtout en l'absence d'infrastructure nouvelle.

Pour bien anticiper les conséquences de la croissance démographique sur la mobilité, il est primordial pour les décideurs de disposer d'un outil permettant de tester des scénarios démographiques et leurs impacts sur les différents réseaux de transport.

4. L'utilité d'un modèle multimodal de déplacements à Dakar

Il est crucial pour le CETUD se doter d'un modèle à l'échelle de l'agglomération, qui lui permette de réaliser des études prospectives, tenant compte de l'ensemble des modes de déplacements, en particulier les modes individuels, et de différentes situations d'urbanisation dans un contexte de croissance démographique et urbaine accélérée. Ces études peuvent être réalisées grâce à un modèle multimodal de déplacements dont l'utilisation est très répandue dans les pays développés mais reste marginale en Afrique.

L'intérêt de développer la modélisation des transports et des déplacements dans les villes en développement a pourtant été souligné à de nombreuses reprises (Chakwizira, 2017; Helluin, et al., 2018). Les avantages de ces modèles sont nombreux. Outre la possibilité de simuler un impact quantitatif d'une modification de l'offre ou de la demande en transport sur les déplacements, ils sont particulièrement utiles dans l'étude d'impact socioéconomique de projets de transport puisqu'ils permettent de mesurer les gains de temps et externalités liés à l'évolution du trafic (diminution du bruit, réduction des émissions de CO₂... autant d'éléments indexés sur les véhicules.kilomètres parcourus) qui restent des avantages principaux des grands projets de transport (Gaudry, 2019; Mackie & Wosley, 2019).

De plus, si les modèles multimodaux de déplacements ne permettent pas de remplacer des modèles de type LUTI (Land Use and Transport Integrated) qui analysent les interactions entre l'occupation des sols et les infrastructures de transport (Wosley, 2019), ils permettent néanmoins de tester la résilience des systèmes de transport à plusieurs hypothèses d'urbanisation. Un modèle multimodal robuste et dont une autorité locale (le CETUD dans le cas de Dakar) aurait la maîtrise permettrait ainsi de répondre à la fois à des objectifs à court terme, en testant des restructurations d'offre de transport ponctuelles ou faciles à mettre en place, et à des exercices de planification à long terme, comme dans le cas de projets de transport transformationnels ou des schémas directeurs d'urbanisme.

Ces modèles ne sont toutefois pas sans limites et inconvénients. Kane et Behrens recensent ainsi les désavantages des modèles multimodaux classiques utilisés en Afrique du Sud, mais qui peuvent aussi s'appliquer à d'autres villes de pays en développement (Kane & Behrens, 2002). Il est ainsi reproché aux modèles multimodaux qui ont été développés en Afrique du Sud d'être inadaptés à l'environnement qu'ils essaient de simuler, car issus de théories élaborées dans des pays développés où la situation de la mobilité est très différente (avec notamment des taux de motorisation très supérieurs et des transports urbains bien plus structurés). De plus, ces modèles sont souvent très gourmands en données, puisqu'ils nécessitent une bonne description des différents systèmes de transport (y compris informels) et de la demande de transport, ce qui

englobe à la fois des données sociodémographiques, économiques et des données décrivant les déplacements. Ces dernières données sont généralement issues d'enquêtes ménages déplacements dont le coût est souvent prohibitif pour certaines municipalités de pays en développement. Les auteurs ajoutent aussi qu'en Afrique du Sud, les spécialistes locaux du transport n'avaient généralement pas les compétences nécessaires pour s'appropriier pleinement un modèle multimodal. Enfin, ces modèles sont basés sur des situations existantes et réalisent des projections sur la base des comportements calibrés à cet effet (Dewar, 2011). Cette critique, déjà avérée et très problématique dans les pays développés, est d'autant plus pertinente dans des villes dont la démographie est aussi dynamique que celle Dakar.

Le CETUD est bien conscient de toutes ces limites, mais dans le contexte de Dakar, où les problèmes à court terme liés à l'encadrement du transport informel côtoient les problématiques à moyen terme telles que la livraison des grands projets que sont le TER et le BRT ainsi que les réflexions à long terme liées à la maîtrise de l'expansion urbaine, un modèle multimodal de déplacements devient un outil indispensable pour une bonne planification des politiques et projets de transport. Le CETUD prévoit aussi de former ses propres ingénieurs pour acquérir les compétences nécessaires en modélisation et ne faire appel à des consultants extérieurs que sur des questions spécifiques qui nécessitent une certaine expertise. Le développement du modèle a été confié au groupement setec-CUREM à la suite d'un appel d'offre international.

5. La réalisation d'un modèle répondant aux spécificités dakaroises

L'ambition du groupement setec-CUREM est donc de réaliser un modèle multimodal à quatre étapes qui puisse répondre aux critiques susmentionnées. Cette partie a donc pour vocation de décrire les choix de modélisation qui ont été faits au moment de la rédaction de cet article.

5.1. Un modèle réalisé dans le cadre d'un transfert de compétences

Le groupement mandataire de la réalisation du modèle est composé du bureau d'études français setec international et du laboratoire de recherche CUREM de l'École Supérieure Polytechnique de Dakar. L'idée principale qui a conduit l'association de ces deux cotraitants est que setec international, qui a une grande expérience dans la réalisation de modèles de simulation de déplacements, puisse organiser un transfert de ces compétences au CUREM, qui doit idéalement se poursuivre dans le cadre d'une collaboration universitaire.

La première phase de l'étude réalisée durant l'été 2019 a consisté en la réalisation d'une formation du personnel du CETUD et du CUREM à la maîtrise des principes de base de la modélisation multimodale et à la prise en main du logiciel qui a été retenu pour supporter le futur modèle. Cette phase importante dans l'appel d'offre du CETUD a pour but de s'assurer que le personnel du CETUD puisse avoir une maîtrise complète du modèle une fois livré. Elle sera d'ailleurs complétée à la fin de l'étude par une formation spécifique à l'utilisation du modèle. Le but de former également le CUREM est que ses enseignants - chercheurs puissent ensuite transmettre leur savoir à leurs élèves de l'École Supérieure Polytechnique afin de créer un vivier de modélisateurs au Sénégal.

Le développement du modèle multimodal de Dakar s'inscrit donc dans une volonté de renforcement des compétences locales en modélisation, tant au niveau du CETUD qu'au niveau universitaire.

5.2. *Éviter le modèle « boîte noire » et inabordable*

Un autre reproche fait aux différentes études de modélisation de déplacements est de livrer des modèles « boîtes noires » et souvent à des prix élevés.

Le modèle de Dakar est développé sous le logiciel TransCAD, qui a le mérite d'être moins coûteux que certains de ses concurrents (VISUM et CUBE en particulier) et d'offrir de bonnes performances de modélisation des circulations routières et des transports en commun, avec une interface SIG de très bonne qualité. Toutefois, pour limiter au maximum le nombre de licences à acheter par le CETUD et permettre une plus grande flexibilité d'utilisation, le développement est aujourd'hui orienté de manière à effectuer le maximum d'étapes de modélisation en dehors du logiciel support et notamment en s'appuyant sur des outils en Open Source. Les trois premières étapes de la modélisation (génération, distribution, choix modal) seront donc réalisées à l'aide d'un code en Python 3, facilement compréhensible par les ingénieurs qui l'utiliseront. Le choix modal en particulier sera basé sur l'utilisation de BIOGEME (Bierlaire, 2018), programme en accès libre hébergé par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

5.3. *Un modèle qui s'appuie sur des données de qualité et une coopération entre acteurs*

Une autre critique citée plus haut sur l'utilisation de modèles multimodaux est leur « gourmandise » en données. Le développement d'un modèle à quatre étapes classique s'appuie en effet sur une très grande variété de données. On peut citer pêle-mêle des données de recensement (population et emploi, idéalement segmentées en plusieurs catégories d'âge, socio-professionnelles...) qui doivent être à un niveau relativement fin pour découper le territoire, des données de déplacements de type Enquête Ménage Déplacements, des données de fréquentation des différents réseaux de transport (comptages routiers, comptages dans les transports en commun...), une description des réseaux (capacité de la voirie, vitesse moyenne, fréquence des bus...), l'état de l'occupation des sols... Or, il est maintenant connu que les pays en développement n'ont pas la même dotation en sources statistiques que les pays où sont classiquement développés les modèles multimodaux (Devarajan, 2013).

Il s'avère pourtant que le modèle multimodal du CETUD est développé dans un contexte très favorable. On note tout d'abord la réalisation récente d'une Enquête Ménage Déplacement de grande qualité en 2015 : l'EMTASUD (CUREM; SITRASS, 2015). Réalisée au standard CERTU (CERTU, 2008), cette enquête s'appuie sur un échantillon de 3176 ménages représentant plus de 20 000 individus. Redressée sur les données du recensement national (ANSD, 2013), elle fournit des informations détaillées sur les déplacements des habitants de l'agglomération de Dakar dans un territoire découpé en une quarantaine de zones. Ces déplacements sont reconstitués à la journée et par motif. De plus, l'enquête a permis de préciser un grand nombre de caractéristiques sociodémographiques de la population, ainsi que des

informations qualitatives sur les nombreux réseaux de transport en commun de Dakar. L'EMTASUD fournit donc une base solide pour la réalisation d'un modèle à quatre étapes.

De plus, les études préalables à la réalisation du TER et du BRT ont été l'occasion de réaliser de grandes campagnes de comptages dans les différents systèmes de transport en commun qui pourront être réutilisées pour le calage de l'étape d'affectation des flux en transport en commun.

Concernant les réseaux de transport en commun (TC), les modèles multimodaux nécessitent une cartographie précise de l'ensemble des lignes TC du territoire couvert par le modèle. Cette donnée est souvent difficile à obtenir dans certaines villes d'Afrique où une grande partie du transport public est réalisé par le secteur informel. Mais le CETUD a déjà fait réaliser dans le cadre de l'étude de la situation de référence du BRT (CUREM, 2019) une cartographie de l'ensemble du réseau TC, qui comprend à la fois le réseau formel (Dakar Dem Dikk et AFTU) et le réseau informel (cars rapides et Ndiaga Ndiaye).

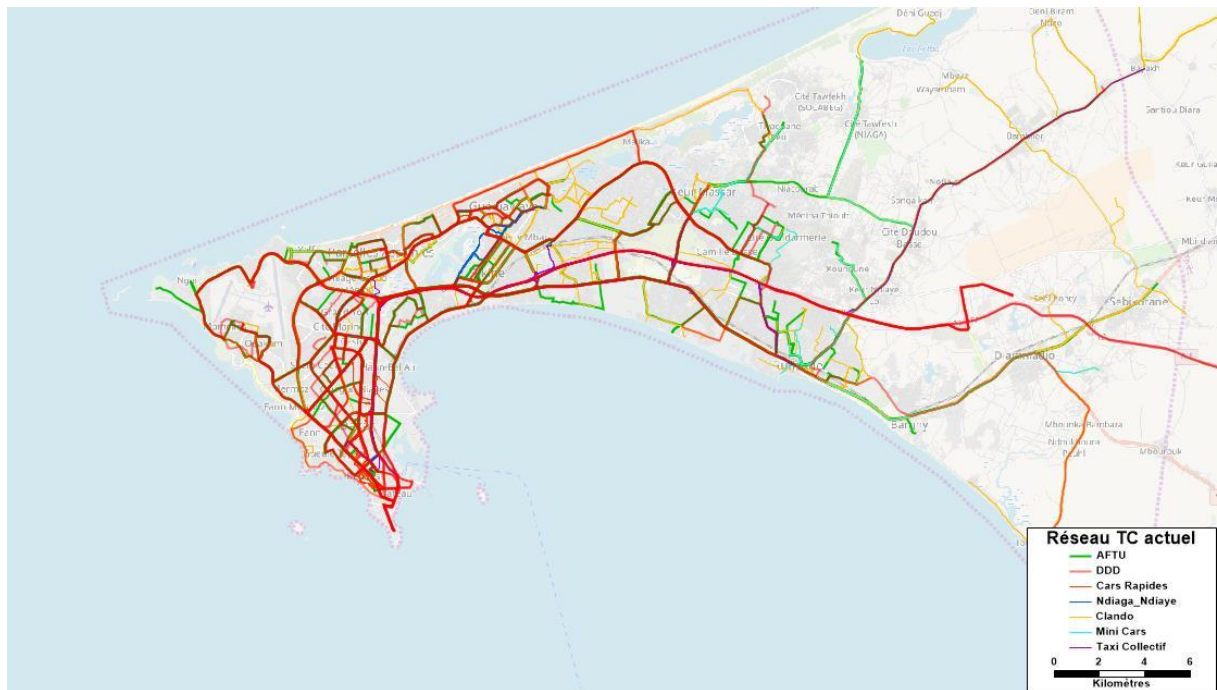


Figure 3: Cartographie du réseau de transport en commun actuel (source: CUREM)

Par ailleurs, l'élaboration du modèle intervient dans une période où le CETUD a commencé à nouer des relations de collaboration avec des institutions publiques, fournisseurs de données, à travers des conventions de partenariat et d'échanges d'informations (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD), 2018 ; Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire (ANAT), 2019 ; DGUA, 2020 ; etc.). Le partenariat avec l'ANAT a ainsi permis d'obtenir des données très précises sur l'occupation des sols sur une grande partie du territoire du modèle. De plus, de nombreux échanges ont été menés avec l'ANSD afin d'alimenter le modèle avec des données de population et d'emplois les plus fines possible.

Enfin, le groupement setec-CUREM a effectué divers recueils de données complémentaires. Le CUREM a réalisé une enquête cordon sur les véhicules poids lourds et une série d'entretiens avec les chargeurs. setec a mené une reconnaissance par véhicule flottant équipé de caméra GPS des principaux axes routiers de l'agglomération : cette reconnaissance permettra de fiabiliser le réseau routier au format SIG issus d'OpenStreetMap.

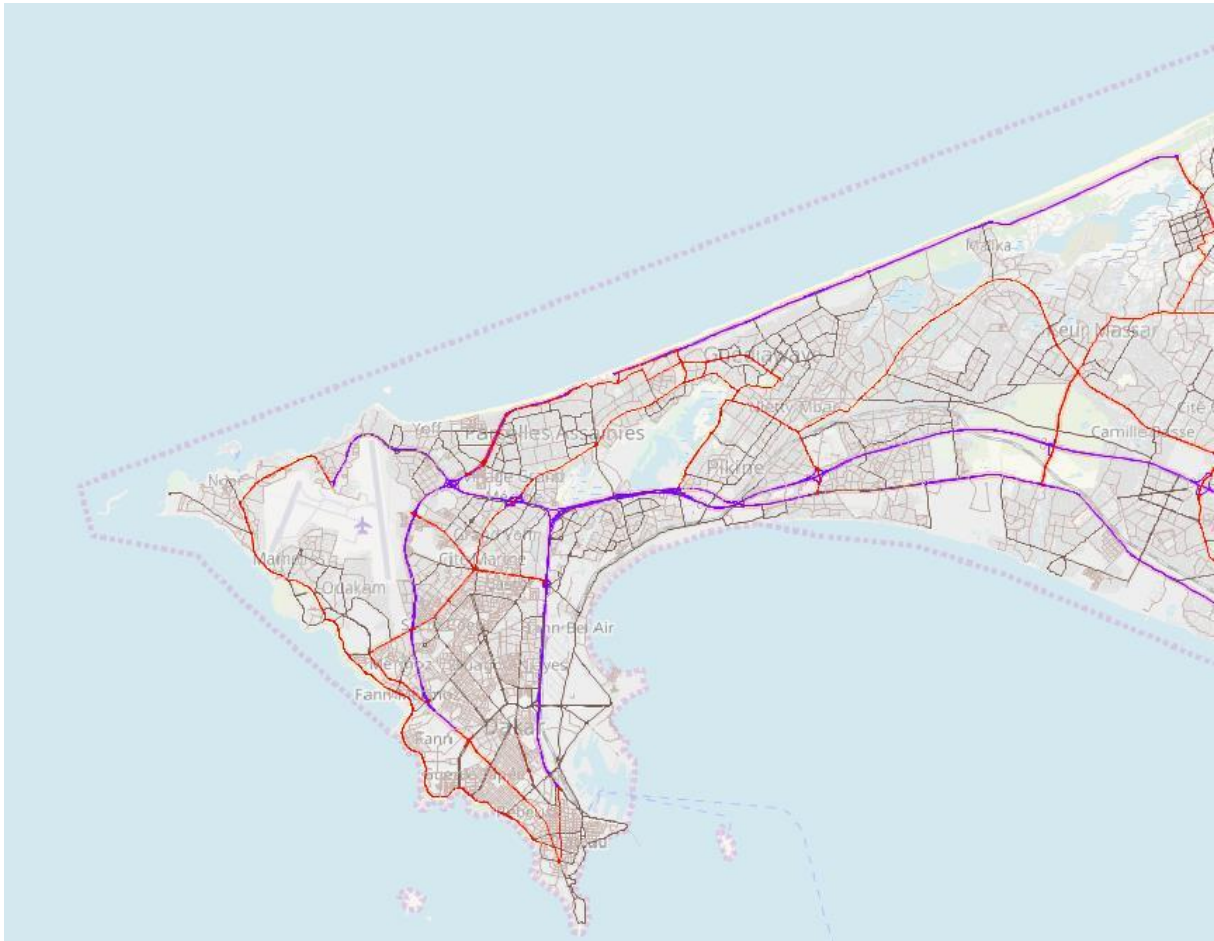


Figure 4: Aperçu du réseau routier extrait d'OpenStreetMap (source: OpenStreetMap, traitement par setec)

5.4. *Choix de modélisation : une approche désagrégée pour tenir compte des spécificités de l'agglomération dakaroise*

Une autre critique historique des modèles à quatre étapes est de modéliser les déplacements de manière trop agrégée en regroupant les déplacements par quelques paires de motifs de déplacements (domicile-travail, domicile-achats...). Pour pallier ces défauts, des approches désagrégées basées sur les boucles de déplacements ont été développées (CERTU, 2008). La base de données de l'EMTASUD permet ainsi de raisonner selon cette méthode et de réaliser les étapes de génération et distribution selon cette approche par boucle. C'est le choix qui a été fait par le groupement.

Le principe de la méthode désagrégée ne consiste pas seulement en la division des trajets en boucles de déplacements, mais aussi en l'intégration des caractéristiques de l'individu. Un important travail a donc été réalisé pour croiser les différentes caractéristiques sociodémographiques des individus renseignées dans l'EMTASUD avec leurs habitudes de

déplacements afin de constituer des catégories d'individus pertinentes. Fréquence d'une boucle de déplacements, part modale des différents déplacements, nombre de déplacements moyens, nombre de sorties du domicile sont d'autant critères qui ont été utilisés afin de créer des catégories de population dont les déplacements soient suffisamment hétérogènes entre elles. Ce traitement a été fait sur le sous-échantillon de l'EMTASUD qui était éligible à l'enquête (les résidents âgés de plus de onze ans), et qui a indiqué s'être déplacé pendant la période d'enquête, soit 2,14 millions d'individus sur les 3,33 millions d'habitants de la région de Dakar en 2015. Il en résulte une division en onze catégories détaillées ci-dessous :

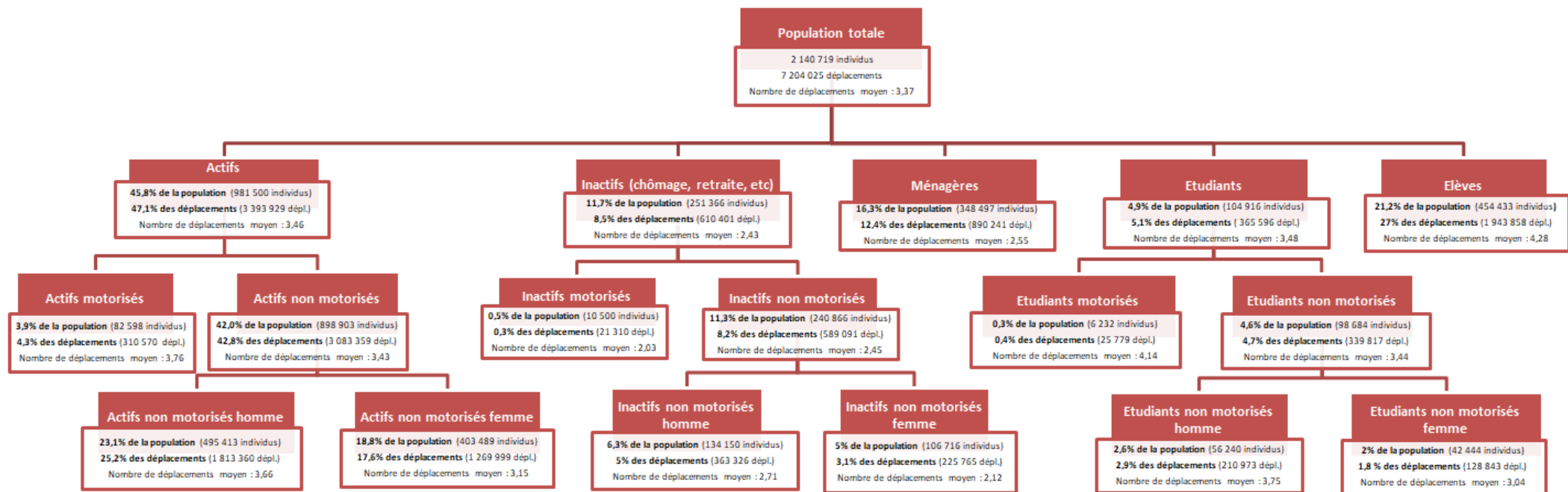


Figure 5: Catégorisation des déplacements utilisée dans le modèle (source: groupement setec-CUREM)

5.5. *Préparation des projections*

Enfin, il était reproché aux modèles classiques de se baser sur une photographie des habitudes de déplacements à un instant donné et de supposer ces comportements constants dans le temps pour réaliser des simulations de déplacements dans le futur. Ces exercices de projections sont toujours assez délicats, particulièrement dans une agglomération avec une démographie si dynamique. Or, l'étude commandée par le CETUD dans le cadre de l'élaboration du modèle demande, en plus de la réalisation du modèle, la construction de scénarios de modélisations pour les horizons 2025, 2030 et 2035.

Le modèle de génération se base sur un taux moyen de déplacements par catégorie et par boucle. Un premier moyen pour prendre en compte les évolutions du futur de la mobilité est le poids donné à chaque catégorie de population. Comme on le voit sur la Figure 5, il a été choisi de maintenir deux catégories malgré leur poids statistique limité : les actifs motorisés et les inactifs motorisés. Ce choix s'explique, d'une part, par l'impact de la circulation automobile malgré sa faible part dans les déplacements et, d'autre part, en prévision de l'augmentation du taux de motorisation dans la population, qui ira de pair avec la croissance économique prévue au Sénégal (FMI, 2019). Le parti pris a été aussi de diviser certaines catégories selon le genre de l'individu. Ce choix a été fait au regard des différences de comportements de mobilité entre hommes et femmes, notamment du point de vue de la typologie des boucles de déplacements réalisées. Il a été considéré que ces différences sont trop significatives pour ne pas être prises en compte dans le calage du modèle. Il pourrait néanmoins être choisi dans les scénarios futurs de rapprocher ces catégories en faisant converger les taux de déplacements par boucle et les fonctions de choix modal de ces catégories.

Enfin, les évolutions par zone des segments de population définis dans le modèle seront calculées selon la méthodologie détaillée au point 3 et intégrées au modèle pour permettre d'étudier la résilience des systèmes de transport de l'agglomération dakaroise à son expansion démographique.

6. Conclusion

Le modèle multimodal de Dakar est un projet ambitieux porté par le CETUD. Il représente une nouvelle étape dans le renforcement de l'expertise locale en termes de modélisation de transport. Il a pour vocation d'être un outil qui répond à la fois aux enjeux à court terme du CETUD, mais aussi de lui donner les moyens d'objectiver sa vision de la mobilité à long terme, dans son rôle de planificateur de la mobilité urbaine. Il permet également au CETUD de promouvoir la coopération entre agences gouvernementales en associant les différents fournisseurs de données à l'alimentation du modèle et à ses résultats. Enfin, il tente de répondre aux critiques classiques faites aux modèles multimodaux appliqués en Afrique en s'adaptant au mieux au contexte dakarois, aussi bien dans son mode de réalisation que dans les choix de modélisations retenus pour son développement.

7. Bibliographie

- ANSD, 2005-2019. *Situation économique et sociale du Sénégal en 2016*, Dakar: s.n.
- ANSD, 2013. *Recensement Général de Population et de l'Habitat, 2013. Rapport Définitif RGPFAE*, Dakar: ANSD.
- ANSD, 2016. *Rapport projection de la population du Sénégal - 2013-2063*, Dakar: s.n.
- Bierlaire, M., 2018. PandasBiogeme: a short introduction. *Report TRANSP-OR*, Issue 181219.
- CERTU, 2008. *L'enquête ménages déplacements "Standard Certu", Guide méthodologique*, Lyon: Éditions du CERTU.
- CETUD, 2020. *Historique*. [En ligne]
Available at: <http://www.cetud.sn/index.php/qui-sommes-nous/historique>
[Accès le 2 janvier 2020].
- Chakwizira, J., 2017. Transport modelling research agenda and new directions: evidence from a developing country. Dans: I. Schoeman, éd. *Transportation. Land use and integration, applications in developing countries*. Southampton: WIT Press, pp. 95-118.
- Consortium RECS International, 2016. *Plan Directeur d'Urbanisme de Dakar et ses Environs - Horizon 2035*, Dakar: Ministère du Renouveau Urbain, de l'Habitat et du Cadre de Vie de la République du Sénégal.
- CUREM; SITRASS, 2015. *Enquête ménages sur la mobilité, le transport et l'accès aux services urbains dans l'agglomération de Dakar (EMTASUD)*, Dakar: s.n.
- CUREM, 2019. *Etude de la Situation de Référence du BRT*, s.l.: s.n.
- Dakaractu, 2019. Politiques nationales d'aménagement et de développement territorial en matière de transport et mobilité urbaine : L'Anat et le Cetud joignent leurs forces. *Dakaractu*, 29 Août.
- Devarajan, S., 2013. Africa's Statistical Tragedy. *Review of income and wealth*, Volume 59, pp. S9-S15.
- Dewar, D., 2011. The Relationship between Spatial Planning and Transportation Planning in Southern Africa and its Consequences for Human Settlement. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 5(5), pp. 241-245.
- Diongue, M., 2012. Chapitre 2: Les périphéries rurales et la métropolisation : mutations et dynamiques territoriales. Le cas de Dakar.. Dans: *Le Sénégal : dynamiques territoriales, socio-économiques et politiques à l'ère de la mondialisation*. Paris: L'Harmattan, pp. 67-105.
- FMI, 2019. *Real GDP growth (Annual percent change) - Senegal*. [En ligne]
Available at:
https://www.imf.org/external/datamapper/NGDP_RPCH@WEO/SEN?year=2024
[Accès le 2020 Janvier 5].

Gaudry, M., 2019. Chapitre 1 : La modélisation et les prévisions des trafics du Grand Paris Express. Dans: J. Prager, éd. *Le Grand Paris Express - Les enjeux économiques et urbains*. Paris: Economica, pp. 29-54.

Helluin, J.-J., Berger, P., Descroux, T. & Dols, M., 2018. *La planification de la mobilité urbaine dans les pays en développement pour des villes plus économes en énergie : la nécessaire alliance entre objectifs globaux et besoins locaux*. Lyon: CODATU.

Kane, L. & Behrens, R., 2002. *Transport Planning Models : An Historical and Critical Review*. Pretoria: s.n.

LOGIT, 2016. *Projet BRT - Dakar : Cadre Technique*, s.l.: s.n.

Lombard, J., 2006. Enjeux privés dans le transport public d'Abidjan et de Dakar. *Géocarrefour*, 81(2), pp. 167-174.

Lombard, J., Bruez, F. & Diakho, A., 2006. Les transports sénégalais à l'aune du système-monde. Dans: *La mondialisation côté Sud*. Marseille: IRD Éditions, Éditions Rue d'Ulm, pp. 182-202.

Mackie, P. & Wosley, T., 2019. Chapitre 3 : Les projets transformationnels . Dans: J. Prager, éd. *Le Grand Paris Express - Les enjeux économiques et urbains*. Paris: Economica, pp. 81-132.

setec International, 2013. *Tramway de Québec et de Lévis - Étude de faisabilité - lot 3 - Modèle Multimodal - Prédiction de la demande au fil de l'eau - Note technique*, Québec: s.n.

SYSTRA, 2015. *Liaison ferroviaire Dakar - Aéroport International Blaise Diagne : Étude de trafic*, Paris: s.n.

Wosley, T., 2019. Chapitre 20 : Le Crossrail de Londres et son évaluation. Dans: J. Prager, éd. *Le Grand Paris Express : Les enjeux économiques et urbains*. Paris: Economica, pp. 499-523.