

Étude de sensibilité dans les modes de transport terrestre abidjanais

Sahi Roland DIOMANDE¹, Kouamé Norbert N'GUESSAN^{1*}, Adama COULIBALY², Yao N'GUESSAN¹,
Christelle PÉRILHON³ et Kouadio Alphonse DIANGO¹

¹ Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (INP-HB), UMRI 18, Laboratoire de Mécanique et Sciences des Matériaux, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

² Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro (INP-HB), Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles de l'INP-HB (LAPISEN), UMRI 58, Yamoussoukro, BP 1093, Côte d'Ivoire

³ Cnam, Arts et Métiers Institute of Technology, LIFSE, F-75013 Paris, France

(Reçu le 16 Février 2024 ; Accepté le 25 Mars 2024)

* Correspondance, courriel : tikenou@yahoo.fr

Résumé

À l'horizon 2040 par rapport à 2016, un objectif de réduction de 20 % des trajets individuels motorisés et une augmentation de 80 % des modes doux et le transport en commun, est fixé par la Côte d'Ivoire. N'guessan *et al.* ont déterminé en 2019, l'impact énergétique spécifique (Mega Joule / (passenger kilometer)) (MJ/p.km) direct de l'ensemble des modes de transport terrestre de passagers de la ville d'Abidjan. L'objectif de ce travail est de mesurer le taux de variation de la flotte abidjanaise en circulation et sa consommation énergétique pour différents cas de transfert modal à partir de ces résultats d'enquête de N'guessan *et al.*, après des tests de confiance et de normalité effectués sur la distribution de fréquence des différents échantillons. Le report du mode de transport *Voiture personnelle* vers les modes de transport *Gbaka* et *Taxi communal* conduit à un taux de réduction significatif de la flotte en circulation de plus de 97 % et de 58 % de sa consommation d'énergie fossile pour un report du *Taxi* vers le *Gbaka*. L'utilisation du mode de transport *Gbaka* à Abidjan permet une plus grande réduction de sa flotte en circulation et de sa consommation énergétique, pour une plus grande réduction de l'impact environnemental du secteur du transport.

Mots-clés : *transport de passager, réduction de la flotte, impact et flotte, transfert modal, Abidjan.*

Abstract

Sensitivity study in Abidjan city road transport modes

By 2040, compared to 2016, an objective of a 20 % reduction in individual motorized ride and an 80 % increase in soft modes and public transport has been set by Côte d'Ivoire. N'guessan *et al.* determined in 2019, the direct specific energy impact (Mega Joule/ (passenger kilometer)) (MJ/p.km) of all modes of land passenger transport in the city of Abidjan. The objective is to measure the rate of variation of the Abidjan fleet in circulation and its energy consumption for different cases of modal transfer from these survey results of N'guessan *et al.*, after tests of confidence and normality carried out on the frequency distribution of different

samples. The modal transfer from the Personal car transport mode to the Gbaka and communal Taxi modes of transport leads to a significant reduction rate of the circulation fleet of more than 97 % and 58 % of its fossil energy consumption for a transfer of the Taxi to the Gbaka. The use of the Gbaka mode of transport in Abidjan allows a greater reduction of its fleet in circulation and its energy consumption, for a greater reduction of the environmental impact of the transport sector.

Keywords : *passenger transport, fleet reduction, modal transfer, fleet impact, Abidjan.*

1. Introduction

Selon l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [1], les activités humaines ont réchauffé l'atmosphère, l'océan, la surface de la terre et partant, le mode de vie qui se définit comme l'ensemble des choix pratiques habituels au sein d'un dispositif organisationnel et technique d'une communauté [2]. La contribution prévue déterminée nationale de la Côte d'Ivoire lors de la COP (Conference of Parties) 21 de mai 2015 à Paris [3], estime à l'horizon 2030, les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur de transport à 18,22 % de la totalité des émissions de l'ensemble de tous les secteurs d'activité ivoiriens. En 2019, la consommation de combustible (Super, Pétrole, Gasoil) dans le District autonome d'Abidjan représentait 54,01 % de la consommation de l'ensemble du pays [4]. L'Etat de Côte d'Ivoire, à travers son Ministère des Transports [5], a pour objectifs à l'horizon 2040 de réduire de 20 % les trajets individuels motorisés par rapport à 2016 et augmenter la part des modes doux (ce sont les modes de transport qui ne consomment pas d'énergies polluantes : la marche, le vélo, les véhicules électriques chargés à partir d'une source non polluante) et le transport en commun à 80 % du total des déplacements. La ville d'Abidjan, la capitale économique de la Côte d'Ivoire, pour une population de 5 616 635 habitants, représente 19,11 % de la population ivoirienne [6]. Entre 2017 et 2019, cette population concentrait, 88,21 % du parc circulant de véhicules terrestre de transport de personnes et 94,07 % de l'ensemble des voitures personnelles en circulation de la Côte d'Ivoire [7 - 9] pour 363 561 véhicules terrestres roulants sur cette période. Les études montrent que les embouteillages augmentent la consommation en combustible et partant, les émissions directes de CO₂ qui en découlent [10 - 11]. Ainsi, la réduction des embouteillages permet de réduire la consommation en combustible et des émissions directes de CO₂ du parc roulant de véhicules d'une ville donnée. L'une des solutions est de favoriser les modes de transport partagés, telles sont les conclusions des travaux à partir d'enquêtes menées dans les plus grandes villes américaines [12]. En Chine, une étude comparative au niveau des émissions, des modes de transport comme le véhicule personnel, le taxi, le bus, la marche et le vélo, dans 655 villes chinoises, a été menée [13]. L'augmentation de 20 % de l'usage de l'ensemble (taxi, Voiture personnelle) fait accroître le niveau d'émission de 17,9 %, alors qu'elle le fait chuter de 16,8 % pour les modes doux (marche et vélo). Selon la même source, la limitation de l'usage de la Voiture personnelle et la promotion du transport public, permettraient une réduction de 21 % de l'énergie consommée dans le secteur du transport à l'horizon 2030. En Côte d'Ivoire, les travaux de N'guessan *et al*, à partir d'une enquête menée en 2019 sur l'ensemble des modes de transport terrestre de la ville d'Abidjan, ont permis de déterminer l'impact énergétique spécifique (MJ/p.km) (Méga Joule/passenger kilometer) direct au niveau de chacun des 9 modes de transport terrestre de passagers qui assurent le déplacement quotidien des Abidjanais [14]. Ce sont : le minibus « Gbaka » ; le Taxi ; le Taxi intercommunal (ou taxi banalisé appelé Wôrô-Wôrô) ; le Taxi communal (appelé aussi Wôrô-Wôrô) ; les Bus de la Société des Transports Abidjanais (SOTRA) (composés de Monbus, Wibus, Express, Confort+) et la Voiture personnelle. Le Gbaka, le Bus de la SOTRA, le Taxi intercommunal et le Taxi communal sont des modes de transport présentant certaines des caractéristiques d'un covoiturage public sur des itinéraires (trajets ou lignes) prédéfinis. Le but de cette étude est d'analyser le niveau de la variation de la flotte roulante de transport de passager de la ville d'Abidjan et le niveau de la

variation de sa consommation énergétique, pour différents cas de transfert modal, de report des modes de transport individuel vers les modes de transport collectif ou partagé, à partir des résultats d'enquête de N'guessan *et al.* [14]. Cette analyse vise à permettre une meilleure compréhension des relations entre les différents modes de transport abidjanais et leurs impacts sur la flotte roulante de la ville d'Abidjan, en termes de nombre de véhicules en circulation et de leur consommation énergétique. En d'autres termes, pour une augmentation en part de marché au niveau d'un mode de transport au détriment d'un autre, quelle serait le taux de variation en nombre de véhicules roulant dans la ville d'Abidjan et le taux de variation de la consommation énergétique de ce même parc roulant.

2. Méthodologie

2-1. Données de base

Les résultats du **Tableau 1**, donnent le résumé pour chacun des 9 modes de transport, de la consommation d'énergie fossile pour transporter un passager sur un kilomètre (MJ/p.km), de la distance moyenne parcourue par jour (km/jour), de la consommation en litre de l'équivalent essence (Lge : *liters of gasoline equivalent*) de combustible au 100 km (Lge/100 km), du taux d'occupation moyenne de passager par véhicule (passager(s)/véhicule), du parc roulant de chaque mode de transport et du nombre journalier de passagers. Ces résultats ont été obtenus à partir de données brutes issues de l'enquête qui a permis de recueillir les données sur l'ensemble de la flotte de bus SOTRA et sur un échantillon de 183 véhicules (**Tableau 2**) pour l'ensemble des 5 modes de transport restant. Les données brutes ont été validées par celles des enquêtes antérieures menée par le Ministère d'Etat, Ministère du Plan et du Développement et des travaux de thèse [15, 16]. Les mêmes données brutes ont été comparées à la tendance globale au niveau international, notamment en Suisse [17] et aux USA [18].

Tableau 1 : Tableau synoptique sur les modes de transport routier de la ville d'Abidjan [14]

Mode de transport terrestre abidjanais	Flotte abidjanaise				Taux d'occupation moyen [passager (s)/véhicule]	Échantillon		
	Véhicules		Passagers journaliers			Consommation moyenne [Lge/100 km]	Distance moyenne parcourue [km/jour]	Consommation spécifique moyenne [MJ/p.km]
	Quantité	%	Quantité	%				
Taxi communal	10 157	2,79	954 758	20,02	4,06	17,00	147,28	1,48
Taxi intercommunal	1 541	0,42	108 486	2,27	6,37	14,77	164,58	0,84
Taxi Gbaka	16 500	4,54	985 430	20,66	1,15	11,40	232,25	3,50
Voiture personnelle	6 200	1,71	1 438 400	30,16	14,09	16,72	221,66	0,43
Bus SOTRA	328 346	90,31	858 257	18,00	1,61	10,98	56,57	2,27
Monbus	632	0,17	402 785	8,45	83,19	49,57	126,04	0,20
Wibus	63	0,02	4 266	0,09	12,90	8,15	74,94	0,71
Express	74	0,02	12 196	0,26	33,72	22,88	98,60	0,49
Confort+	48	0,01	4 210	0,09	39,66	9,72	66,07	0,34
Total	363 561	100,00	4 768 789	100,00				

Tableau 2 : Taille d'échantillon des modes de transport[14]

Mode de transport	Flotte abidjanaise de véhicules	Taille de l'échantillon
Taxi communal	10 157	59
Taxi intercommunal	1 541	26
Taxi	16 500	16
Voiture personnelle	328 346	44
Gbaka	6 200	32

2-2. Méthode

2-2-1. Tests de confiance sur les résultats d'impact énergétique

Les données sur les modes de transport *Monbus*, *Express*, *Wibus* et *Confort+* de l'entreprise SOTRA concernent l'ensemble du parc de 817 bus en circulation, du mois de juillet 2019. Il n'y a donc pas de risque d'incertitude sur les résultats. En revanche, au niveau des 5 modes de transport *Gbaka*, *Taxi communal*, *Taxi intercommunal*, *Taxi* et *Voiture personnelle*, les tailles des différents échantillons sont plus petites que celles de leur flotte respective. Dès lors, les résultats de la consommation spécifique d'énergie fossile obtenus au niveau des différents échantillons de ces différents modes de transport, sont-ils valables au niveau de l'ensemble de leur flotte ? La réponse à ces questions nous conduit à la détermination de l'intervalle de confiance à 95 %.

2-2-2. Tests de normalité

Le test de normalité consiste à soumettre la distribution de fréquence des résultats obtenus au niveau des échantillons de chacun des modes de transport concernés, à un certain nombre de tests au travers des instructions de l'outil de calcul R (logiciel libre de statistique) et la fonction *Describe* (argument). Pour les échantillons dont la normalité est tolérée, l'intervalle de confiance à 95 % qui est déterminé est l'intervalle où se situerait la consommation spécifique d'énergie fossile de n'importe lequel des véhicules de la flotte du mode de transport concerné (la marge d'erreur est de 5 %). Pour les échantillons dont la normalité ne serait pas tolérée, les résultats ne peuvent pas raisonnablement être étendus à l'ensemble de la flotte du mode de transport en question, mais restent valables au niveau de l'échantillon de l'enquête. La détermination d'un intervalle de confiance en statistique n'a de sens que si la distribution de la variable consommation spécifique du mode de transport considéré, suit une loi normale. Pour le test de normalité avec l'outil de calcul R, on distingue l'approche test statistique et l'approche empirique.

2-2-2-1. Approche empirique

L'approche empirique se fait à l'aide de graphiques constitués d'un histogramme de fréquence et d'une représentation de la loi normale théorique découlant de cette distribution de fréquence. Si la courbe de la distribution semble s'ajuster à une distribution normale, donc proche d'une courbe en cloche, alors on pourrait se prononcer sur la normalité de la distribution. Ce test empirique de normalité d'une distribution est complété par un diagramme de normalité qui est une courbe plus pratique, obtenue par les fonctions « Q-Q Plot ». Les résultats sont présentés dans le **Tableau 3**. Les histogrammes de chacune des distributions des 5 modes de transport concernés que sont le *Taxi communal*, le *Taxi intercommunal*, le *Taxi-compteur*, le *Gbaka* et la *Voiture personnelle*, ont une forme assimilée à une courbe en cloche. Si ces tests empiriques permettent d'avoir une idée, ils ne sont pas précis. Ce qui nous amène au test statistique.

Tableau 3 : Tests empiriques de la distribution des modes de transport objets d'enquête

Modes de transport	Histogramme	Q-Q Plot
Taxi communal		
Taxi intercommunal		
Taxi-compteur		
Gbaka		
Voiture personnelle		

2-2-2-2. Tests statistiques

Les tests statistiques apportent plus de précision. On en distingue deux : le test de « Shapiro-Wilk » qui est applicable pour des échantillons allant jusqu'à 55 unités et le test de « Kolmogorov-Smirnov » pour des valeurs supérieures. La variable de probabilité P mesurée sur la distribution de l'échantillon de chaque mode de transport doit être supérieure à 0,05 pour que la normalité soit tolérée. La normalité de tous les modes de transport est tolérée, sauf celle du Gbaka (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Vérification de la normalité de la distribution de la consommation spécifique des modes de transport

Modes de transport	Taille Echantillon	Type de Test statistique	Valeur mesurée de P	Conclusion du test
Taxi intercommunal	26	Shapiro-Wilk	0,1543	Normalité tolérée
Taxi	16		0,1106	Normalité tolérée
Gbaka	32		0,02543	Normalité non tolérée
Voiture personnelle	44		0,1429	Normalité tolérée
Taxi communal	59	Kolmogorov-Smirnov	0,6305	Normalité tolérée

Le désordre et les conflits internes dans les modes de transport informel, particulièrement au sein du mode de transport *Gbaka*, relevés dans l'enquête sociologique sur la gouvernance du transport abidjanais [16], font que les conducteurs au sein de ce mode de transport étaient très méfiants et donc réticents à partager les données sur leur activité. Un tel contexte d'exercice de l'activité du mode de transport *Gbaka* permet difficilement une coopération, un partage de données sur la pratique de son métier, de tout conducteur *Gbaka* tiré au sort. Pour obtenir les données, il fallait construire une relation de confiance avec des chauffeurs. Une fois la confiance d'un chauffeur obtenue, celui-ci peut mettre l'enquêteur en relation avec d'autres chauffeurs *Gbaka* qui sont ses amis de travail, voire ses frères, ses parents, pour d'autres collectes de données sur les véhicules de ce mode de transport. Pour réduire l'influence des tirages non aléatoires, la taille de l'échantillon de base a été augmentée [14]. Mais, les résultats montrent que cela n'a pas été suffisant.

2-2-3. Hypothèses de travail

Dans cette étude de sensibilité, nous faisons les hypothèses suivantes :

- le nombre de passagers transportés actuellement par chacun des modes de transport routier est considéré
- comme valeur nominale de chaque mode. La valeur de l'ensemble des passagers transportés par jour de la ville d'Abidjan reste constante ;
- le taux d'occupation moyen est la valeur moyenne du nombre de passagers transportés par véhicule d'un mode de transport donné. Il reste constant ;
- le nombre de véhicules roulant actuellement au niveau de chaque mode de transport terrestre de personnes, est considéré comme valeur nominale de chaque mode. La valeur de l'ensemble des véhicules roulants des modes de transport de passagers de la ville d'Abidjan reste inchangée ;
- la consommation spécifique d'énergie fossile (MJ/p.km) de chaque mode de transport reste constante et égale à la valeur des résultats contenus dans le **Tableau 1** ;
- l'intensité énergétique obtenue au niveau de l'échantillon de chacun des modes de transport, y compris le *Gbaka*, est supposée être la valeur moyenne de l'ensemble de la flotte abidjanaise en circulation, du mode de transport considéré.

2-2-4. Présentation de l'étude

L'analyse de sensibilité est une méthode d'exploration des entrées d'un modèle. Son objectif premier est de quantifier l'effet de chaque variable d'entrée sur la sortie d'un modèle, en éclairant les relations entre les variables d'entrée et les variables de sortie [19]. Les entrées sont composées des parts de marché de chacun des 9 modes de transport que sont : *Monbus, Wibus, Express, Confort+, Gbaka, Taxi intercommunal, Taxi communal, Taxi et Voiture personnelle*. Les sorties sont le Taux de réduction de la flotte abidjanaise en circulation et le Taux de réduction en énergie consommée par km parcouru, de cette même flotte. Tout cela est schématisé sur la **Figure 1**.

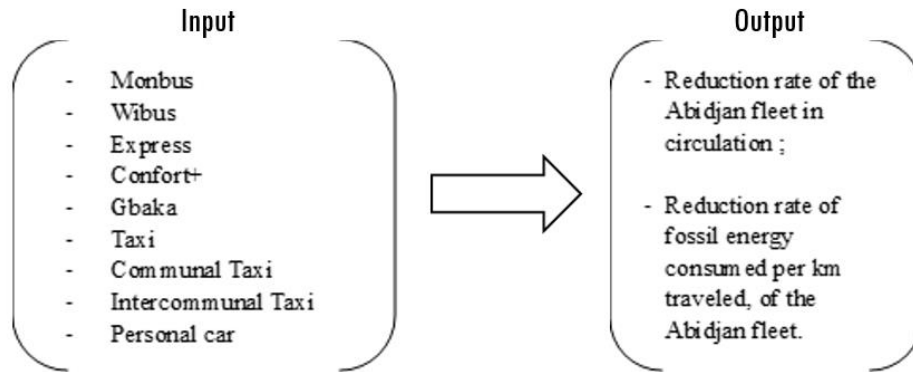


Figure 1 : Variables d'entrée et de sortie de l'étude de sensibilité

Au niveau des variables d'entrée, sur la base de leur consommation spécifique d'énergie fossile, nous distinguons les modes de transport dits « Efficaces », des modes de transport dits « Non efficaces ». Les modes de transport « Non efficaces » sont les plus consommateurs d'énergie fossile spécifique et regroupe les transports individuels : le *Taxi* et la *Voiture personnelle*. Les autres modes de transport qui sont, à différents niveaux, les moins consommateurs d'énergie fossile spécifique, sont dits « Efficaces » et regroupent les modes de transport collectif : *Monbus, Wibus, Express, Confort+, Gbaka, Taxi intercommunal, Taxi communal*. Le but de cette étude est de mesurer l'influence sur le niveau de la flotte abidjanaise en circulation et sa consommation énergétique, du gain en part de marché d'un mode de transport « Efficace » au détriment d'un mode de transport « Non efficace ». Sur le terrain, pour que cela puisse se réaliser, il faudrait que le mode de transport « Efficace » couvre l'espace de la clientèle des modes de transport « Non efficace » qui couvre tout le territoire de la ville d'Abidjan. Le mode de transport *Wibus* n'existe qu'à Cocody, l'une des 10 communes de la ville d'Abidjan et *Confort+* est destiné au transport privé des travailleurs ou des élèves ou des étudiants d'entreprises privées. Ces deux modes de transport seront donc exclus de l'étude. Ainsi, quel serait l'impact énergétique et l'impact sur le niveau de la flotte de la ville d'Abidjan, du gain de part de marché d'un de ces modes « Efficace » sur un mode « Non efficace » comme présenté dans le **Tableau 5**.

Tableau 5 : Classification des modes de transport abidjanais

Modes de transport collectif « Efficace »	Modes de transport individuel « Non efficace »
Monbus : 0,20 MJ/p.km	Taxi : 3,50 MJ/p.km
Gbaka : 0,43 MJ/p.km	Voiture personnelle : 2,27 MJ/p.km
Express : 0,49 MJ/p.km	
Taxi intercommunal : 0,84 MJ/p.km	
Taxi communal : 1,48 MJ/p.km	

2-2-5. Mode de calcul

C'est la méthode « One-At-a-Time » (OAT) que nous utilisons. Cette méthode rendue publique par le britannique Sir Ronald Aylmer Fisher (17 février 1890 - 29 Juillet 1962), elle est appliquée dans différents domaines, en management et en statistique. Elle consiste à modifier une par une, les variables en laissant les autres fixées à leur valeur nominale qui sera celle de leur part de marché actuelle. De ce fait, on pourra voir l'influence de la variation en part de marché de cette entrée, sur les deux variables de sortie. Ensuite, on remet cette variable à sa valeur nominale pour modifier une autre variable et voir son influence [20]. Le gain en part de marché d'un mode de transport « Efficace » au détriment d'un mode de transport « Non efficace » conduit à une augmentation du nombre de véhicules roulants du mode de transport « Efficace » pendant que le nombre de véhicules roulants du mode de transport « Non efficace » diminue. La variation du nombre de véhicules du parc roulant abidjanais sera le rapport de cette différence avec le parc roulant actuel de l'ensemble des modes de transport. La variation de la consommation énergétique par km parcouru du parc roulant est le rapport de la différence entre l'énergie fossile nécessaire consommée pour le transport du gain en passagers avec le mode de transport « Efficace » et l'énergie nécessaire consommée pour le transport de ces mêmes passagers avec le mode de transport « Non efficace », et la consommation totale d'énergie de l'ensemble de la flotte roulante abidjanaise.

2-2-5-1. Taux de variation du nombre de véhicules du mode de transport « Efficace »

$$T_{VE} = \frac{P_{ma} \times P_{aAJ}}{100 \times P_{aJE}} \quad (1)$$

avec, T_{VE} : Taux de variation en nombre de véhicules du mode de transport « Efficace » ; P_{ma} : Part de marché gagnée par le mode de transport « Efficace » sur le mode de transport « Non efficace » [%] ; P_{aAJ} : Nombre de passagers par jour transportés par l'ensemble des modes de transport routier de la ville d'Abidjan [nombre de passagers] ; P_{aJE} : Valeur nominale du nombre de passagers par jour transportés par le mode de transport « Efficace » [nombre de passagers].

2-2-5-2. Taux de variation de la flotte abidjanaise

$$T_{VA} = \frac{P_{ma} \times P_{aAJ}}{100 \times V_{rA}} \left(\frac{V_E}{P_{aJE}} - \frac{V_{NE}}{P_{aJNE}} \right) \quad (2)$$

avec, T_{VA} : Taux de variation en nombre de véhicules roulants dans la ville d'Abidjan ; V_{rA} : Nombre de véhicules roulants de l'ensemble des modes de transport de la ville d'Abidjan [nombre de passagers] ; V_E : Nombre de véhicules roulants du mode de transport « Efficace » [nombre de passagers] ; V_{NE} : Nombre de véhicules roulants du mode de transport « Non efficace » [nombre de passagers] ; P_{aJNE} : Valeur nominale du nombre de passagers journalièrement transportés par le mode de transport « Non efficace » [nombre de passagers].

L'étude de la sensibilité du taux de variation en nombre de véhicules roulants dans la ville d'Abidjan (T_{VA}) par rapport à une augmentation du taux de variation en nombre de véhicules d'un mode de transport « Efficace » (S_{TVA}), est la détermination du coefficient directeur de la fonction T_{VA} en fonction de la variable T_{VE} : $T_{VA}(T_{VE})$.

$$S_{TVA} = \frac{\Delta T_{VA}}{\Delta T_{VE}} \quad (3)$$

avec, S_{TVA} : Sensibilité sur T_{VA} , d'un mode de transport « Efficace » au détriment d'un mode de transport « Non efficace » ; ΔT_{VE} : variation de T_{VE} ; ΔT_{VA} : variation de T_{VA} .

Cette sensibilité (S_{TVA}) traduit l'évolution en nombre de véhicules de la flotte abidjanaise sur l'évolution en nombre de véhicules de la flotte du mode de transport « Efficace ». Plus le niveau initial de la flotte « Efficace » est élevé, plus son évolution est faible et plus la sensibilité relative à ce mode de transport, est importante.

2-2-5-3. Taux de variation de la consommation énergétique de la flotte abidjanaise

$$C_{AJ} = \sum_{i=1}^{10} C_{sei} \times P_{aji} \tag{4}$$

avec, C_{AJ} : Consommation nominale journalière d'énergie par km parcouru, de l'ensemble de la flotte des modes de transport routier de la ville d'Abidjan [MJ/km]; C_{sei} : Consommation spécifique d'énergie par p.km du mode de transport i [MJ/p.km]; P_{aji} : Valeur nominale du nombre de passagers journalièrement transportés par le mode de transport i [nombre de passagers].

$$T_{ceA} = \frac{P_{ma} \times P_{aAJ}}{100 \times C_{AJ}} (C_{seE} - C_{seNE}) \tag{5}$$

avec, T_{ceA} : Taux de variation en consommation d'énergie journalière par km parcouru de l'ensemble de la flotte des véhicules routiers de personnes des modes de transport de la ville d'Abidjan; C_{seE} : Consommation spécifique d'énergie par p.km du mode de transport « Efficace » [MJ/p.km]; C_{seNE} : Consommation spécifique d'énergie par p.km du mode de transport « Non efficace » [MJ/p.km].

L'étude de la sensibilité du taux de variation en consommation d'énergie par km parcouru de l'ensemble des véhicules roulants des modes de transport de la ville d'Abidjan (T_{ceA}) par rapport à une augmentation du taux de variation en nombre de véhicules d'un mode de transport « Efficace » (S_{TceA}), est la détermination du coefficient directeur de la fonction T_{ceA} en fonction de la variable T_{VE} : $T_{ceA}(T_{VE})$. D'où :

$$S_{TceA} = \frac{\Delta T_{ceA}}{\Delta T_{VE}} \tag{6}$$

avec, S_{TceA} : Sensibilité sur T_{ceA} d'un mode de transport « Efficace » au détriment d'un mode de transport « Non efficace » ; ΔT_{VE} : variation de T_{VE} ; ΔT_{ceA} : variation de T_{ceA} .

3. Résultats

Les **Figures 2 à 7** qui suivent, présentent les résultats de la sensibilité sur le niveau de la flotte terrestre en circulation de l'ensemble des véhicules des différents modes de transport de la ville d'Abidjan et de sa consommation énergétique par km parcouru, avec chacun des modes de transport « Efficace » retenus, en rapport avec les deux modes de transport « Non efficace » que sont les modes de transport *Voiture personnelle* et *Taxi*. Sur les **Figures 2a et b**, par rapport au taux de variation en nombre de véhicules du mode de transport *Express*, c'est seulement une diminution d'au plus 1,25 % du taux de variation du parc roulant qui pourrait être observée avec la Voiture personnelle. Le mode de transport *Express* en substitution aux modes de transport « Non efficace », a une influence négligeable sur le niveau du parc automobile abidjanais et sa consommation énergétique.

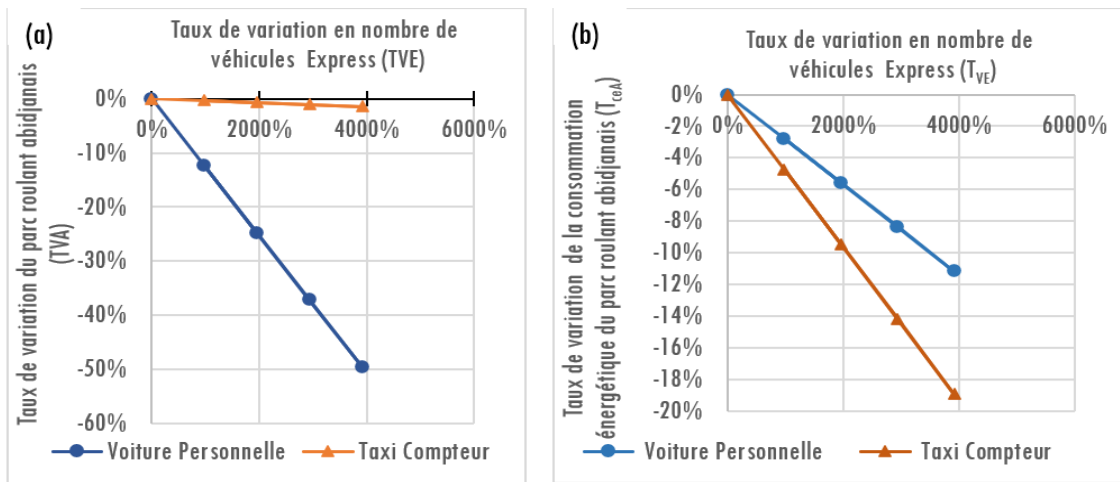


Figure 2 : Sensibilité de l'Express sur le niveau du parc roulant abidjanais et sa Consommation énergétique par km parcouru, en rapport avec la Voiture Personnelle et le Taxi-compteur

Sur les **Figures 3a et b**, par rapport au taux de variation en nombre de véhicules de *Monbus*, c'est au moins 40 % de diminution pour le taux de variation du parc roulant abidjanais qui seraient observés avec la *Voiture personnelle*.

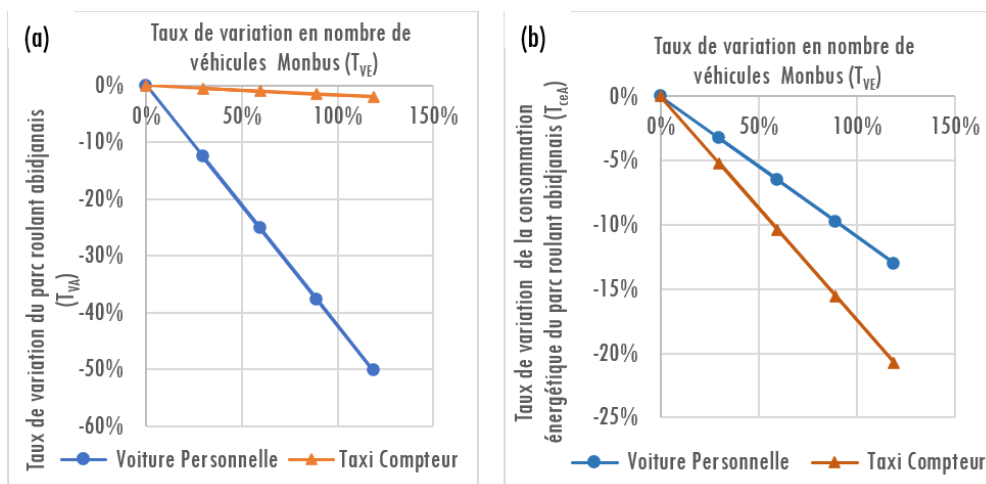


Figure 3 : Sensibilité de Monbus sur le niveau du parc roulant abidjanais et sa Consommation énergétique par km parcouru, en rapport avec la Voiture Personnelle et le Taxi-compteur

Sur les **Figures 4a et b**, par rapport au taux de variation en nombre de véhicules du mode de transport *Gbaka*, c'est autour de 150 % de diminution du taux de variation du parc roulant avec la *Voiture personnelle* et plus de 50 % de diminution du taux de variation de la consommation énergétique de ce même parc roulant abidjanais avec le *Taxi-compteur*, qui seraient réalisés.

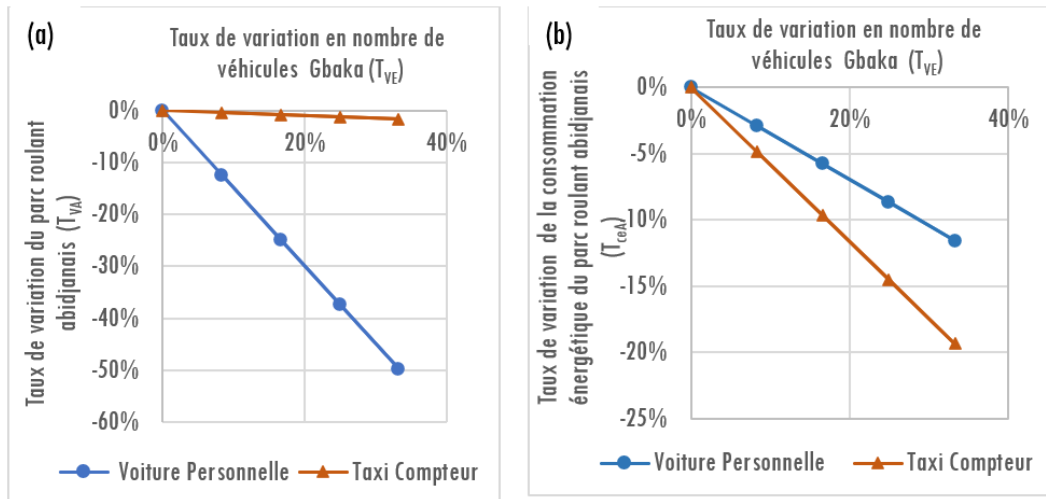


Figure 4 : Sensibilité du Gbaka sur le niveau du parc roulant abidjanais et sa Consommation énergétique par km parcouru, en rapport avec la Voiture Personnelle et le Taxi-compteur

Sur les **Figures 5a et b**, par rapport au taux de variation en nombre de véhicules du mode de transport *Taxi intercommunal*, c'est autour de 2 % de diminution du taux de variation qui pourraient être observés. Le mode de transport *Taxi intercommunal* en substitution aux modes de transport « Non efficace », a une influence négligeable sur le niveau du parc automobile abidjanais et sa consommation énergétique.

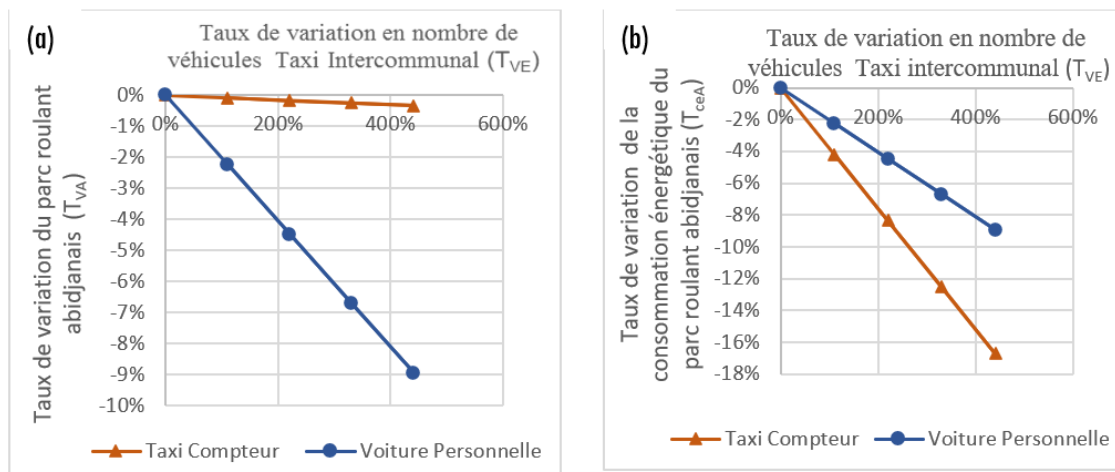


Figure 5 : Sensibilité du Taxi intercommunal sur le niveau du parc roulant abidjanais et sa consommation énergétique par km parcouru, en rapport avec la Voiture personnelle et le Taxi-compteur

Sur les **Figures 6a et b**, par rapport au taux de variation en nombre de véhicules du *Taxi communal*, c'est près de 100 % de diminution du taux de variation du parc roulant avec la *Voiture personnelle* et moins de 28 % de diminution du taux de variation de la consommation énergétique de ce même parc roulant abidjanais avec le *Taxi-compteur*, qui seraient réalisés.

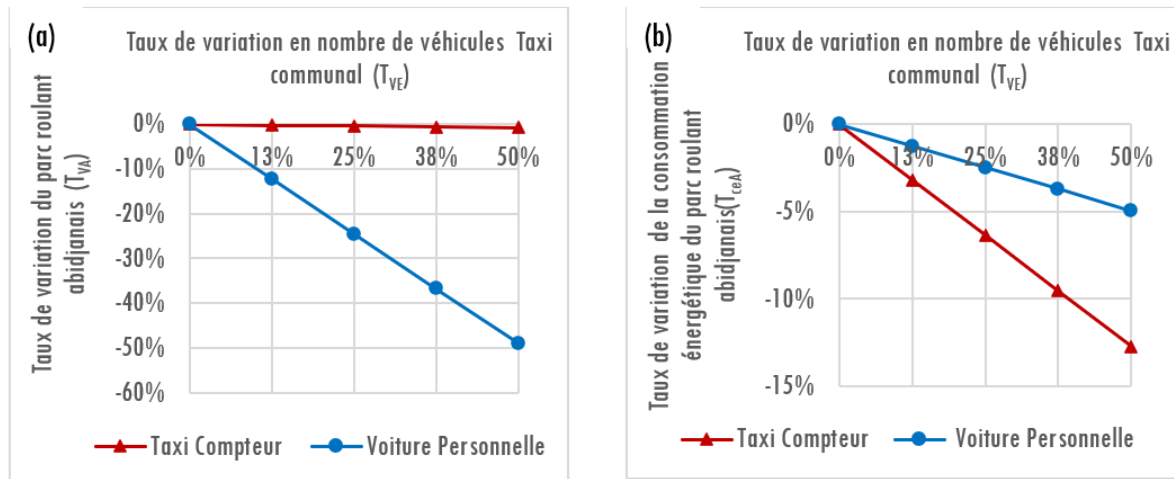


Figure 6 : Sensibilité du Taxi communal sur le niveau du parc roulant abidjanais et sa consommation énergétique par km parcouru, en rapport avec la Voiture personnelle et le Taxi-compteur

Sur les **Figures 7a et b**, par rapport au taux de variation en nombre de véhicules du *Taxi Collectif*, c'est autour de 110 % de diminution du taux de variation du parc roulant avec la *Voiture personnelle* et moins de 31 % de diminution du taux de variation de la consommation énergétique de ce même parc roulant abidjanais avec le *Taxi-compteur*, qui seraient réalisés.

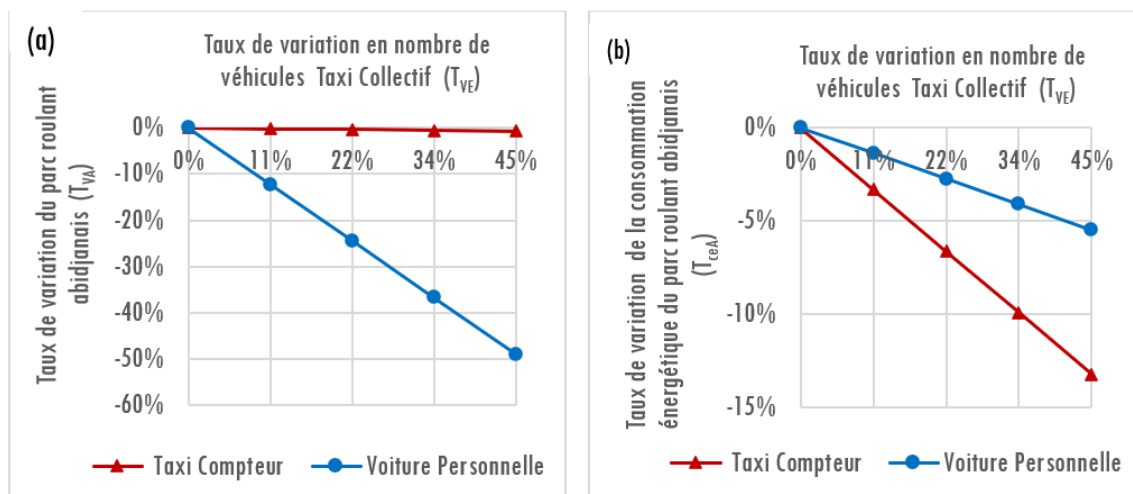


Figure 7 : Sensibilité du Taxi collectif sur le niveau du parc roulant abidjanais et sa consommation énergétique par km parcouru, en rapport avec la Voiture personnelle et le Taxi-compteur

Les résultats de la détermination de la sensibilité sur le niveau de la flotte routière en circulation dans la ville d'Abidjan et de sa consommation journalière d'énergie, sont résumés dans le **Tableau 6**. Dans un report des modes de transport individuel vers des modes de transport collectif au niveau de la flotte routière abidjanaise et de sa consommation énergétique, nous avons une réduction à tous les niveaux.

Tableau 6 : Récapitulatif des résultats sur la détermination des sensibilités.

Mode de transport « Efficient »	En rapport avec la Voiture personnelle		En rapport au Taxi	
	Taux de réduction de la flotte abidjanaise	Taux de réduction de la consommation énergétique de la flotte abidjanaise	Taux de réduction de la flotte abidjanaise	Taux de réduction de la consommation énergétique de la flotte abidjanaise
Express	-1,26 %	-0,29 %	-0,04 %	-0,48 %
Monbus	-42,21 %	-10,96 %	-1,68 %	-17,51 %
Gbaka	-149,66 %	-34,85 %	-4,92 %	-58,24 %
Taxi intercommunal	-10,99 %	-2,03 %	-0,08 %	-3,80 %
Taxi communal	-97,67 %	-9,92 %	-1,60 %	-25,45 %

En adoptant les critères d'analyse de sensibilité de la norme ISO 14044 (2006), les résultats précédents chiffrés de l'étude de sensibilité se traduisent, dans l'ordre croissant d'influence, de négligeable, certaine, pertinente ou significative, comme le montre le **Tableau 7**.

Tableau 7 : Récapitulatif des résultats sur la détermination des sensibilités avec les critères d'analyse de la norme ISO 14044 (2006)

Modes de transport	En rapport à la Voiture personnelle		En rapport au Taxi	
	Taux de réduction de la flotte	Taux de réduction de la consommation énergétique de la flotte	Taux de réduction de la flotte	Taux de réduction de la consommation énergétique de la flotte
Express	influence négligeable	influence négligeable	influence négligeable	influence négligeable
Monbus	influence pertinente	influence certaine	influence négligeable	influence certaine
Gbaka	influence significative	influence pertinente	influence négligeable	influence significative
Taxi intercommunal	influence certaine	influence négligeable	influence négligeable	influence négligeable
Taxi communal	influence significative	influence négligeable	influence négligeable	influence pertinente

4. Discussion

La réduction de la flotte du *Taxi-compteur* a une influence négligeable sur le niveau de la flotte abidjanaise en circulation. Le niveau de la part de marché de l'*Express* a une influence négligeable sur la réduction de la flotte et sa consommation énergétique. L'augmentation de la part de marché de *Monbus*, du *Gbaka* et du *Taxi communal* au détriment de la *Voiture personnelle*, a au moins, une influence pertinente sur la réduction de la flotte roulant de la ville d'Abidjan. Le *Gbaka* et le *Taxi communal*, avec leur mode de fonctionnement par maximisation du nombre de passagers [15], ont une influence significative sur la réduction de cette flotte abidjanaise (au moins de 97,67 %). Avec un taux de réduction de la flotte abidjanaise de près de 150 % dans un transfert modal du mode de transport *Voiture personnelle* au profit du mode de transport *Gbaka*. Ainsi, avec une part de marché de transport journalier de passagers de 18 % pour la *Voiture personnelle*, il faut une augmentation de seulement 59,67 % du nombre de véhicules *Gbaka* et 89,89 % du nombre de véhicules *Taxi communal* pour absorber l'ensemble des passagers du mode de transport *Voiture personnelle*. Soit une

réduction de la flotte abidjanaise de 89,30 % dans le cas du report du mode de transport *Voiture personnelle* vers le *Gbaka* et 87,80 % lorsque ce report est vers le *Taxi communal*. Le *Gbaka* qui a un taux d'occupation plus élevé (14,09 passagers/véhicule) contre 4,06 passagers/véhicule pour le *Taxi communal*, a aussi une influence significative sur la réduction de la consommation énergétique de la flotte abidjanaise. Le report des modes de transport individuel (*Voiture personnelle* et *Taxi-compteur*) vers les modes de transport en commun (*Monbus*, *Gbaka* et *Taxi communal*) permet donc à la fois, une réduction au moins pertinente, du niveau de la flotte abidjanaise en circulation et de la réduction de la consommation d'énergie fossile de cette flotte abidjanaise et partant, de la réduction de ses émissions de CO₂. En plus, la réduction du parc roulant réduit les embouteillages qui accroissent la consommation des véhicules et la pollution [10]. Le métro d'Abidjan et les bus rapides de transit (BRT) [21] qui sont en cours d'étude et de réalisation, sont des modes de transport terrestre de grande capacité qui, par la réduction du temps du transport et le bien-être des passagers, attireront un plus grand nombre de passagers pour un taux d'occupation plus important. Le métro et le BRT d'Abidjan produiront des résultats similaires dans leur fonctionnement comme ceux réalisés par le mode de fonctionnement par maximisation du taux d'occupation avec le mode de transport *Gbaka*. La différence entre le *Gbaka* d'une part, et le métro avec le BRT d'Abidjan d'autre part, c'est que le métro et le BRT sont plus confortables.

5. Conclusion

Pour la réduction du nombre de véhicules en circulation dans la ville d'Abidjan, il faudrait réduire le nombre de *Voitures personnelles* en circulation au profit des modes de transport « Efficace ». En dehors de l'*Express* pour lequel l'impact est négligeable (moins de 1,5%), pour les autres modes de transport « Efficace », il est au moins pertinent (au moins 11 %). Pour la réduction de la consommation d'énergie au niveau des modes de transport de la ville d'Abidjan, il faudrait réduire le nombre des *Taxi-compteur* en circulation au profit des autres modes de transport que sont le *Gbaka*, le *Monbus* et le *Taxi communal* pour un niveau de réduction d'au moins 17 %. Le report du mode de transport *Voiture personnelle* vers les modes de transport *Gbaka* et *Taxi communal* conduit à un taux de réduction significative du parc de véhicules en circulation dans la ville d'Abidjan de plus de 97 %. Le report du mode de transport *Taxi* vers le mode de transport *Gbaka* conduit à un taux de réduction significative de la consommation d'énergie fossile du parc de véhicules en circulation dans la ville d'Abidjan de plus de 58 %%. En somme, le transfert des passagers des modes de transport individuel (*Voiture personnelle*, *Taxi-compteur*) vers les modes de transport en commun (*Monbus*, *Gbaka* et *Taxi communal*) permet une réduction de plus de 17 % du niveau de la flotte abidjanaise en circulation et de sa consommation d'énergie fossile.

Références

- [1] - IPCC, Summary for Policymakers. In *Climate Change 2021 : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. *Cambridge University Press*, (2021)
- [2] - F. RAUSCHMAYER, Motivations altruistes, comportements et modes de vie durable. In "*Les nouveaux modes de vie durables*". *S'engager autrement* Ed. Le Bord De L'eau, (2016) 63 - 67 p.
- [3] - INDC, Contribution Prévue Déterminée au niveau national de la Côte d'Ivoire, COP 21. Rapport, Paris, (mai 2015), https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/C%3%B4te%20d'Ivoire/1/Document_INDC_CI_22092015.pdf

- [4] - DGH, Consommation nationale. Rapport, (2021), <https://www.dgh.ci/aval-petrolier/consomation-nationale>
- [5] - MINISTERE DES TRANSPORTS, Élaboration de la feuille de route mobilité durable en Côte d'Ivoire. Rapport diagnostic, (2019), https://www.climate-chance.org/wp-content/uploads/2019/11/rapport-diagnostic-de-la-mobilite-en-cote-divoire_rapport-final.pdf
- [6] - INS, Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Rapport RGPH 2021, (2021), http://www.ins.ci/RGPH2021/RGPH2021-RESULTATS%20GLOBAUX_VF.pdf
- [7] - INS, Enquête sur le secteur informel du transport. Rapport, (2017)
- [8] - MINISTERE DES TRANSPORTS, L'état du parc automobile en Côte d'Ivoire. In " *Actions et reformes dans la mobilité en Côte d'Ivoire* ", (2017)
- [9] - SOTRA, Données de la direction d'Exploitation de la SOTRA. Rapport, (juillet 2019)
- [10] - G. DELETRAZ et E. PAUL, Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes. Rapport ADEME, Angers, (1998), http://web.univ-pau.fr/RECHERCHE/SET/Auteurs/Deletraz/Etat_Art.PDF
- [11] - U. TIETGE, S. DIAZ, Z. YANG, P. MOCK, From laboratory to road international: A comparison of official and real-world fuel consumption and CO2 values for passenger cars in Europe, the United States, China, and Japan. In : ICCT, Berlin, (11 May 2017), https://theicct.org/sites/default/files/publications/Lab-to-road-intl_ICCT-white-paper_06112017_vF.pdf
- [12] - SCHALLER CONSULTING, The New Automobility: Lyft, Uber and the Future of American Cities. *Schaller Consulting*, New York, (2018), <https://www.eltis.org/sites/default/files/automobility.pdf>
- [13] - D. HE, H. LIU, K. HE, F. MENG, Y. JIANG, M. WANG, J. ZHOU, P. CALTHORPE, J. GUO, Z. YAO, Q. WANG, Energy use of, and CO2 emissions from China's urban passenger transportation sector — Carbon mitigation scenarios upon the transportation mode choices. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 53, (2013) 53 - 67 p. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2013.06.004>
- [14] - K. N. N'GUESSAN, Y. N'GUESSAN, K. A. DIANGO, C. PERILHON, M. K. SAKO, K. J. SARAKA, Energy and environmental impact of the Abidjanese way of life (Côte d'Ivoire): A case study of energy efficiency of transport modes. In: *Technologies and materials for renewable energy, environment and sustainability, AIP Conference Proceedings*, 2307, 020012, (2020). DOI: 10.1063/5.0033666
- [15] - MINPD, Enquête sur la demande de transport dans le grand Abidjan : enquête routière (circulation). Rapport, (2013), <https://docplayer.fr/12238398-Enquete-sur-la-demande-de-transport-dans-le-grand-abidjan-enquete-menage-rapport-provisoire.html>
- [16] - M. YOUSSEF, Gouvernance du transport urbain et mobilité durable dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat en Sociologie, Université de Strasbourg, France, (06 mars 2014), ffNNT : 2014STRAG009ff, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01140115>
- [17] - OFS, ARE - Microrecensement mobilité et transports (MRMT). Rapport, (2017), <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/population/enquetes/rs.assetdetail.2348807.html>
- [18] - U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: National Household Travel Survey website. Report, (June 2018), <https://nhts.ornl.gov>
- [19] - J. JULIEN, Contributions à l'analyse de sensibilité et à l'analyse discriminante généralisée. Mathématiques [math], Université Joseph-Fourier - Grenoble I, (2005)
- [20] - A. REDCHUK and D. R. INSUA, Sensitivity Analysis. Technical Report 2010.17, <http://www.analisisderiesgos.org/>
- [21] - MINISTERE DES TRANSPORTS, Projet de Mobilité Urbaine d'Abidjan (PMUA) : Cadre de Gestion Environnementale et Sociale (CGES). Rapport final, (février 2019), <https://transports.gouv.ci/sites/default/files/cges-pmua-rci-rapport-final-a-publier.pdf>