

RAPPORT D'ANALYSE FINAL

Version F00

*Étude sur les externalités négatives
du transport à Dakar*



Sommaire

ÉTUDE SUR EXTERNALITÉS NÉGATIVES DU TRANSPORT À DAKAR - RAPPORT D'ANALYSE FINAL

1	LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES	14
2	OBJET DU RAPPORT	15
3	VALEURS UNITAIRES ET DONNÉES DE BASE.....	16
3.1	Valeur de la vie humaine	16
3.1.1	La « valeur de la vie statistique » (VVS).....	16
3.1.2	La Valeur d'une Année de Vie (VAV ou VOLY)	17
3.2	Prix du carbone	18
3.2.1	Méthodologie.....	18
3.2.2	Résultats	19
3.3	Valeur du temps.....	19
3.3.1	Cadre théorique	19
3.3.2	Les estimations de la valeur du temps à Dakar	20
3.3.3	Choix d'une valeur du temps pour la valorisation de la congestion	21
3.4	Données routières	21
3.4.1	Le recueil	21
3.4.2	Résultats des comptages	25
4	EXTERNALITÉS LIÉES À LA CONGESTION ROUTIÈRE ...	36
4.1	Analyse des relevés de temps de parcours	36
4.1.1	Méthodologie	36
4.1.2	Résultats des mesures	38
4.2	Estimation de la congestion.....	42
4.2.1	Méthodologie d'estimation de la congestion	42
4.2.2	Estimation de la congestion aux heures modélisées	44
4.2.3	Extension des taux de congestion aux autres heures non modélisées	46
4.2.4	Nombre d'heures perdues en congestion	47
4.2.5	Valorisation de la congestion	48
5	EXTERNALITÉS LIÉES AU BRUIT.....	49
5.1	Analyse des mesures de bruit.....	49
5.1.1	Méthodologie	49
5.1.2	Les outils d'investigation	51
5.1.3	Le contexte normatif.....	51
5.1.4	Les critères acoustiques.....	51
5.2	Organisation	52
5.2.1	Déroulement général	52
5.2.2	Moyens mis en œuvre.....	52
5.3	Résultats des mesures.....	54
5.4	Extension des mesures de bruit à l'ensemble de l'agglomération.....	54

5.4.1	Méthodologie.....	54
5.4.2	Résultats	56
5.5	Valorisation des nuisances sonores.....	58
5.5.1	Méthodologie.....	58
5.5.2	Résultats	59
6	EXTERNALITÉS LIÉES AUX ACCIDENTS DE LA CIRCULATION	60
6.1	Analyse des données disponibles	60
6.2	Valorisation des externalités liées aux accidents de la circulation	61
7	EXTERNALITÉS LIÉES AUX ÉMISSIONS ROUTIÈRES DE POLLUANTS	63
7.1	Analyse des mesures de qualité de l'air.....	63
7.1.1	Méthodologie.....	63
7.1.2	Réglementation en vigueur.....	66
7.1.3	Résultats de la campagne de mesure.....	66
7.2	Calcul des émissions de polluants atmosphériques ..	69
7.2.1	Méthodologie.....	69
7.2.2	Évaluation des émissions liées aux transports.....	69
7.2.3	Résultats	75

7.3 Modèle de dispersion des polluants atmosphériques77

7.3.1	Méthodologie	77
7.3.2	Résultats sur l'ensemble du domaine d'étude.....	83
7.3.4	Exposition de la population	92

7.4 Effets sanitaires de la pollution atmosphérique 93

7.4.1	Introduction.....	93
7.4.2	Matériel et méthodologie.....	93
7.4.3	Résultats.....	103
7.4.4	Synthèse des impacts de la pollution atmosphérique.....	118

8 SYNTHÈSE GLOBALE DES EXTERNALITÉS119

Annexe 1 : Facteurs d'émissions de polluants atmosphériques et facteurs de consommation de carburant et énergie pris en compte pour l'évaluation des externalités négatives liées au transport routier à Dakar

Annexe 2 : Facteurs d'émissions de polluants atmosphériques et facteurs de consommation de carburant et énergie pris en compte pour l'évaluation des externalités négatives liées au transport ferroviaire à Dakar

Table des illustrations et tableaux

Figure 1: Valeur du coût de carbone « shadow price »	19
Figure 2 : Cartographie des sites de relevés de données routières	24
Figure 3 : Résultats principaux des comptages du poste 1	25
Figure 4 : Résultats principaux des comptages du poste 2	25
Figure 5 : Résultats principaux des comptages du poste 3	26
Figure 6 : Résultats principaux des comptages du poste 4	26
Figure 7 : Résultats principaux des comptages du poste 5	27
Figure 8 : Résultats principaux des comptages du poste 6	27
Figure 9 : Résultats principaux des comptages du poste 7	28
Figure 10 : Résultats principaux des comptages du poste 8	28
Figure 11 : Résultats principaux des comptages du poste 9	29
Figure 12 : Résultats principaux des comptages du poste 10	29
Figure 13 : Résultats principaux des comptages du poste 11	30
Figure 14 : Résultats principaux des comptages du poste 12	30
Figure 15 : Résultats principaux des comptages du poste 13	31
Figure 16 : Résultats principaux des comptages du poste 14	31
Figure 17 : Résultats principaux des comptages du poste 15	32
Figure 18 : Résultats principaux des comptages du poste 16	32
Figure 19 : Résultats principaux des comptages du poste 17	33

Figure 20 : Résultats principaux des comptages du poste 18.....	33
Figure 21 : Résultats principaux des comptages du poste 19.....	34
Figure 22 : Résultats principaux des comptages du poste 20.....	34
Figure 23: Itinéraires retenus pour les recueils de temps de parcours.....	37
Figure 24 Comparaison des temps moyens et des temps minimaux observés par horaire et par itinéraire.	38
Figure 25 : Évolution de la mobilité à Dakar selon les données Google Mobility (source Google)	40
Figure 26 : Carte d'affectation routière du Modèle Multimodal de Dakar : Heure de Pointe du Matin 2019 – Niveau de saturation	43
Figure 27 : Carte d'affectation routière du Modèle Multimodal de Dakar : Heure de Pointe du Matin 2019 – Taux de congestion	45
Figure 28 : Localisation et résultats des mesures acoustiques	53
Figure 29 : Niveaux sonores extérieur (Lden) liés aux circulations routières reconstitués par CadNaA dans l'ensemble de la ville de Dakar	56
Figure 30 : Superposition de la répartition de la population dakaroise et des niveaux sonores extérieur (Lden) liés aux circulations routières sur la base du zonage du Modèle Multimodal de Dakar.....	57
Figure 31 : Localisation des points de mesure sur la campagne 2022 à Dakar, Sénégal.....	64
Figure 32 : Photo satellite d'un panache de poussières désertiques observées au-dessus de Dakar le 11 mai 2022 (source : NOAA).....	68
Figure 33 : Présentation schématique de la méthodologie mise en œuvre	69
Figure 34 : Réseau routier considéré dans le modèle de qualité de l'air.....	74
Figure 35 : Composantes des émissions de particules en suspension PM10 et particules fines PM2,5	75
Figure 36 : Répartition des émissions de NOx, Benzène, PM10 et PM2,5 en fonction de la catégorie de véhicules	76
Figure 37 : Illustration de la démarche de modélisation de la qualité de l'air mise en œuvre	77
Figure 38 : Conditions météorologiques observées sur l'aéroport Leopold-Sédar-Senghar à Dakar en 2021	77
Figure 39: Cadastre des émissions de NOx sur la zone de Dakar pour intégration dans le modèle de dispersion de la qualité de l'air.....	78
Figure 40 : Comparaison modèle/mesure pour le NO ₂ (en µg/m ³) au niveau des points de prélèvement de la campagne de mai 2022.....	82

Figure 41 : Boîte à moustache modèle/mesure pour le NO ₂ (en µg/m ³) au niveau des points de prélèvement de la campagne de mai 2022.....	82
Figure 42 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles de poussières modélisées (année 2021) avec les mesures aux stations du CGQA (période 2015-2019) (en µg/m ³).....	83
Figure 43 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles de NO ₂	84
Figure 44 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles de PM10 pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar.....	85
Figure 45 : Contribution de l'ensemble des sources aux concentrations moyennes annuelles de PM10 pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar	86
Figure 46 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles de PM2.5 pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar	87
Figure 47 : Contribution de l'ensemble des sources aux concentrations moyennes annuelles de PM2.5 pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar	88
Figure 48 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles de benzène pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar.....	89
Figure 49 : Zoom sur le quartier de Rufisque – Exemple de recoupement bâtiments d'habitations et contribution du trafic routier aux concentrations en dioxyde d'azote	92
Figure 50 : Taux de mortalité selon l'âge (Sénégal 2019).....	102
Figure 51: Répartition de la population par niveaux d'exposition à la PA-TR à Dakar.....	104

Tableau 1 : Valeur d'une vie statistique (VVS) ajustée pour le Sénégal	17
Tableau 2 : Valeur d'une vie statistique (VAV ou VOLY) ajustée pour le Sénégal	18
Tableau 3 : Exemples de valeurs du temps estimées à Dakar	20
Tableau 4 : Valeur du temps proposée pour la valorisation de la congestion en FCFA/h.....	21
Tableau 5 : Collecte de données routières - sites enquêtés le 10/05/2022	21
Tableau 6 : Collecte de données routières - sites enquêtés le 12/05/2022	22
Tableau 7 : Taux d'occupation par type de véhicule.....	35
Tableau 8 : Fréquence d'extraction des données Google Maps.....	36
Tableau 9 : Mesures de temps de parcours en Jour de Semaine sur les différents itinéraires (données Google Maps 2022)	39
Tableau 10 : Évolution de l'index Google Mobility entre les périodes de mesure de temps de parcours (données Google Mobility)	40
Tableau 11 : Évolution du taux de congestion par période entre 2020 et 2022	41
Tableau 12 : Description du Modèle Multimodal de Dakar	42
Tableau 13 : Méthodologie d'estimation de la congestion	42
Tableau 14 : Taux de congestion par heure modélisée – 2019 source Modèle Multimodal de Dakar	44
Tableau 15 : Temps perdus et taux de congestion par type de réseau à l'heure de pointe du matin 2019 source Modèle Multimodal de Dakar	44
Tableau 16 : Extension du taux de congestion aux heures non modélisées par le Modèle Multimodal de Dakar – 2019 (source : estimation setec).....	46
Tableau 17 : Durée unitaire moyenne et coût unitaire moyen des déplacements par mode (source : EMTASUD 2015).....	47
Tableau 18 : Décomposition du temps de déplacement en voiture (source : EMTASUD 2015 et estimations setec).....	47
Tableau 19 : Déplacements motorisés journaliers (source Modèle Multimodal de Dakar).....	47
Tableau 20 : Heures perdues en congestion – situation 2021 hors COVID (source : estimations setec)	48
Tableau 21 : Échelle des bruits	50

Tableau 22 : Seuils et objectifs acoustiques (arrêté du 5 mai 1995 et la circulaire du 12 décembre 1997, France)	51
Tableau 23 : Synthèse des résultats des mesures acoustiques	54
Tableau 24 : Coefficients Setra pour utilisation du modèle CadnaA	55
Tableau 25 : Vérification du calage du modèle sur les sites de mesure.....	55
Tableau 26 : Répartition de la population dakaroise en fonction du niveau de bruit Lden de leur lieu de résidence.....	58
Tableau 27 : Valorisation des nuisances sonores (par personne et par an) Source calcul setec.....	59
Tableau 28 : Nombre annuel d'accidents de la route – Région de Dakar (Source sapeurs-pompiers)	60
Tableau 29 : Nature des accidents recensés entre 2019 et 2021 – Région de Dakar (Source sapeurs-pompiers).....	61
Tableau 30 : Taux d'accidents en agglomération (Source Circulaire d'évaluation socio-économique française 2019)	61
Tableau 31 : Accidents de la route et distinction des victimes par type – Région de Dakar (Source sapeurs-pompiers et calcul setec)	62
Tableau 32. Valeurs tutélaires de l'insécurité (Source Circulaire d'évaluation socio-économique française 2019).....	62
Tableau 33 : Accidents de la route et distinction des victimes par type – Région de Dakar (Source sapeurs-pompiers et calcul setec)	62
Tableau 34 : localisation des points de mesure qualité de l'air et polluants mesurés	65
Tableau 35 : réglementation sénégalaise NS-02-062 et valeurs guides OMS 2021 sur de qualité de l'air	66
Tableau 36 : résultats de la campagne de mesure qualité de l'air de mai 2022 à Dakar.....	67
Tableau 37 : Répartition du parc routier en fonction du type de véhicule et du type de carburant à Dakar (source CETUD)	69
Tableau 38 : Age moyen des véhicules par type (source CETUD).....	70
Tableau 39 : Consommations totales et par véhicule selon le type de carburant (d'après données du CETUD)	70
Tableau 40 : Type de calculs d'émissions réalisés pour le transport routier	71
Tableau 41 : Teneur en soufre admis dans les carburants par le décret sénégalais n°2014-961	71
Tableau 42 : type de calculs d'émissions réalisés pour le transport ferroviaire.....	72

Tableau 43 : Consommations de carburant, d'énergie et émissions totales émises par le secteur routier par type de véhicule	75
Tableau 44 : Bilan des émissions de CO ₂ équivalent à Dakar (en milliers de tonnes)	76
Tableau 45 : Inventaire des émissions de polluants atmosphériques pour le secteur ferroviaire à Dakar	76
Tableau 46 ; Bilan des émissions de CO ₂ équivalent à Dakar (en milliers de tonnes)	76
Tableau 47 : Comparaison des facteurs d'émission EMEP/EEA corrigés utilisés pour le calcul des émissions d'oxydes d'azote (VL et PL) avec les mesures à l'échappement du CCTVA.....	79
Tableau 48 : Comparaison des facteurs d'émission EMEP/EEA utilisés pour le calcul des émissions de particules à l'échappement (VL et PL) avec les mesures à l'échappement du CCTVA	80
Tableau 49 : Comparaison des facteurs d'émission utilisées pour le calcul des émissions d'oxydes d'azotes NO _x à l'échappement (VL et PL) avec ceux de Liousse et al., 2014	80
Tableau 50 : Comparaison des facteurs d'émissions utilisées pour le calcul des émissions de particules à l'échappement (VL et PL) avec ceux de l'étude DACCWA et de l'étude Sekou et al	81
Tableau 51 : Concentrations mesurées et modélisées en NO ₂ pendant la campagne de mesure de mai 2022 (en µg/m ³).....	82
Tableau 52 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles de poussières modélisées (année 2021) avec les mesures aux stations du CGQA (période 2015-2019) (en µg/m ³).....	83
Tableau 53 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles 2021 en situation de fond (en µg/m ³)	90
Tableau 54 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles 2021 au niveau du réseau de stations du CGQA - zone urbaine (en µg/m ³).....	90
Tableau 55 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles 2021 au niveau des points récepteurs de la campagne de mai 2022 - Proximité directe des axes routiers (en µg/m ³).....	91
Tableau 56 Effets à long terme évaluables selon la méthode de l'OMS	96
Tableau 57 : Répartition de la population dakaroise par tranche d'âge d'intérêt (2019).....	97
Tableau 58 : Taux de mortalité par causes au Sénégal en 2019.....	98
Tableau 59 : FER (RR pour 10 µg/m ³) utilisées pour évaluer les impacts.....	100
Tableau 60 : Table de mortalité du Sénégal (IHME 2019).....	101

Tableau 61 : Répartition de la population par niveaux d'exposition à la PA à Dakar	103
Tableau 62 : Mortalité prématurée toutes causes > 30 ans, PM2.5	105
Tableau 63 : Mortalité prématurée toutes causes > 30 ans, NO ₂	105
Tableau 64 : Mortalité prématurée par cancers du poumon > 30 ans, PM2.5.....	106
Tableau 65 : Mortalité IRB chez l'enfant < 5 ans PM2.5.....	106
Tableau 66 : Mortalités BPCO > 25 ans, PM2.5.....	107
Tableau 67 : Mortalités cancer du poumon > 25 ans, PM2.5.....	107
Tableau 68 : Mortalités par cardiopathies ischémiques > 25 ans, PM2.5.....	108
Tableau 69 : Mortalités par AVC > 25 ans, PM2.5.....	108
Tableau 70 : Mortalités post néonatale chez les <5 ans, PM10.....	109
Tableau 71 : Impacts dus à la pollution de l'air ambiant toutes sources confondues.....	110
Tableau 72 : Impacts dus aux émissions du trafic routier	111
Tableau 73 : DALYs dus à la pollution de l'air toutes sources	112
Tableau 74 : DALYs dus à la pollution de l'air engendrée par le trafic routier	113
Tableau 75 : Coûts des impacts dus à la pollution de l'air toutes sources	114
Tableau 76 : Coûts des impacts dus aux émissions du trafic routier	115
Tableau 77 : Coûts des impacts dus à la pollution de l'air ambiant toutes sources	116
Tableau 78 : Coûts des impacts dus aux émissions du trafic routier	117
Tableau 79 : Valorisation des externalités du transport urbain à Dakar – Année 2021 hors COVID	119
Tableau 80 : Part des externalités en fonction du PIB dakarais.....	120
Tableau 81 : Valorisation des externalités du transport urbain à Dakar – Etude Banque Mondiale (1998).....	120

Tableau 82 : Part des externalités en fonction du PIB dakarais - Comparaison des études de 1998 et 2022..... 121

ÉTUDE SUR LES EXTERNALITÉS NÉGATIVES DU TRANSPORT À DAKAR

Révisions

Indice	Date	Libellé/nature des modifications	Etabli	Vérifié	Validé
A00	05/11/2022	Première version du rapport final L3	AW/DR/VN/FP/BD	DR	DR
B00	05/11/2022	Correction congestion	DR	DR	DR
C00	20/12/2022	Prise en compte des remarques du COTECH	AW/DR/VN/FP/BD	DR	DR
D00	28/02/2023	Ajout éléments DACCIWA + facteurs émission	AW/DR/VN/FP/BD	DR	DR
E00	12/04/2023	Corrections et précisions sur la congestion	AW/DR/VN/FP/BD	DR	DR
F00	12/06/2023	Correction synthèse avec scénario unique	AW/DR/VN/FP/BD	DR	DR

RAPPORT D'ANALYSE FINAL

ÉTUDE SUR EXTERNALITÉS NÉGATIVES DU TRANSPORT À DAKAR



01250111	---	---	0_	-----	GEN	---	RAP	L3	F00
affaire	ident. gen	ident. part	niveau	type dossier	domaine	ouvrage	nature	libre	indice

I:\4-WORK\50111P_CETUD_EXTERNAL\1_TECH\3. LIVRABLES\3. LIVRABLE 3 FINAL\RAPPORT\50111_EXTERNALITES_DAKAR_L3_RAPPORT_D_ANALYSE_FINAL_F00.DOCX

1 LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES

CCTVA	Centre de Contrôle Technique des Véhicules Automobiles
CETUD	Conseil Exécutif des Transports Urbains Durables
CGQA	Centre de Gestion de la Qualité de l'Air
CUREM	Centre Universitaire de Recherche et d'Etude de la Mobilité
DTR	Direction des Transports Routiers
GES	Gaz à effet de serre
N02	dioxyde d'azote
PDUD	Plan de Déplacements Urbains de Dakar
PM10	<i>Particulate Matter</i> / Matière Particulaire inférieure à 10 micromètres
PM2.5	<i>Particulate Matter</i> / Matière Particulaire inférieure à 2.5 micromètres
S02	dioxyde de soufre
TMJA	Trafic Moyen Journalier Annuel
EMTASUD	Enquête ménages sur la mobilité, le transport et l'accès aux services urbains dans l'agglomération de Dakar - 2015
PIB	Produit Intérieur Brut
HPM	Heure de Pointe du Matin
HM	Heure du Midi
HPS	Heure de Pointe du Soir

2 OBJET DU RAPPORT

Le rapport d'analyse présente l'ensemble des travaux qui ont été entrepris sur la base des différentes données collectées lors de la phase précédente.

Il a pour objectifs :

- De présenter les méthodologies mises en œuvre pour traiter chacune des externalités étudiées,
- De fournir les différents indicateurs mesurés et estimés qui découlent de la mise en œuvre de ces méthodologies,
- Et in fine d'aboutir à une valorisation globale de ces externalités qui pourra être mise en perspective avec la richesse nationale ou encore avec ce qui est observé dans d'autres pays.

Le rapport traite successivement :

- Des valeurs unitaires et données de base qui sont utilisées ensuite pour l'estimation et la valorisation des externalités (valeur de la vie humaine, valorisation du carbone, valeur du temps, données de trafic routier transversales à toutes les analyses)
- Des externalités liées à la congestion routière,
- Des externalités liées au bruit,
- Des externalités liées aux accidents de la circulation,
- Des externalités liées aux émissions routières de polluants et de gaz à effet de serre

Il en est fait ensuite la synthèse en intégrant également une valorisation des émissions de gaz à effet de serre.

3 VALEURS UNITAIRES ET DONNÉES DE BASE

3.1 VALEUR DE LA VIE HUMAINE

3.1.1 LA « VALEUR DE LA VIE STATISTIQUE » (VVS)

3.1.1.1 CONTEXTE ET METHODOLOGIE

La théorie économique possède une méthode standard pour mesurer le coût de la mortalité au niveau de la société dans son ensemble : la « valeur de la vie statistique » (VVS)¹. Elle a été développée dans les années 60 et dérive de l'agrégation du consentement à payer des individus (CAP)² pour obtenir une réduction marginale du risque de décès prématuré. La VVS inclut les coûts privés et les coûts publics, représentant l'ensemble des coûts associés à la perte d'une vie humaine (approche conforme à la théorie économique standard, basée sur des enquêtes de consentement à payer pour éviter un risque). C'est une approche généralisée dans les pays occidentaux, permettant de comparer plus facilement les résultats pour Dakar à d'autres villes.

Si la meilleure façon d'établir cette valeur économique est de procéder à des enquêtes en population ce qui est impossible dans le cas de la présente étude (une méta-analyse³ de 92 études a permis d'établir une VVS de 1,5 à 4,5 millions de dollars US₂₀₀₅), depuis 2012, l'OCDE recommande d'utiliser la valeur centrale de 3 millions \$US₂₀₀₅ dans les évaluations des différentes externalités économiques du transport dans les pays de l'OCDE.

Les enquêtes sur le CAP ont aussi montré une variation de la VVS en fonction du Produit Intérieur Brut (PIB) par habitant. L'OCDE en 2014⁴ a enfin proposé une méthode permettant d'ajuster la VVS en fonction du PIB par habitant de chaque pays (méthode de la parité du pouvoir d'achat « purchasing power parity »). Un facteur d'ajustement pour l'élasticité des revenus de 0,4 à 1,0 est utilisé⁵ pour traduire le fait

que plus les revenus augmentent, plus le consentement à payer pour une réduction du risque de mort augmentent, mais moins rapidement que les revenus.

La formule qui est utilisée dans le cadre de cette étude est la suivante :

$$VVS_{SEN2021} = VVS_{UE2005} \times (Y_{SEN2005}/Y_{UE2005})^{\beta} \times (1 + \% \Delta P) \times (1 + \% \Delta Y)^{\beta}$$

Avec :

- **VVS UE₂₀₀₅** : la valeur de la vie humaine pour les pays européens. D'après l'étude l'OCDE, cette valeur est estimée à **3 600 000 USD₂₀₀₅** en 2005.
- **Y SEN₂₀₀₅** : PIB/habitant⁶, en parité de pouvoir d'achat (PPA). Pour le cas du Sénégal, il est estimé à **2 381 USD₂₀₀₅** en 2005.
- **Y UE₂₀₀₅** : PIB/habitant, en parité de pouvoir d'achat (PPA). Pour L'UE27, il est estimé à **26 815 USD₂₀₂₁**.
- **%ΔP** : L'augmentation en pourcentage des prix à la consommation entre 2005 et 2021. Cette augmentation est mesurée par l'indice des prix à la consommation (IPC) qui reflète l'inflation ou l'évolution du coût d'acquisition des biens et de services pour le consommateur moyen. Cette croissance pour le Sénégal sur la période est de : **36,9%**.
- **%ΔY** : La variation en pourcentage de la croissance du PIB réel par habitant entre 2005 et 2021. Ce chiffre est obtenu à partir de croissance annuelle du PIB réel par habitant. Cette croissance pour le Sénégal sur la période est de : **24,4%**.
- **B** : facteur d'élasticité des revenus fixé ici à **0,8**.

Enfin, on utilise les taux de change ajustés PPA de l'année de base (2005) pour convertir la VVS du Dollar en Franc CFA et en Euros.

¹ ou VSL Value of Statistical Life

² ou WTP willingness to pay

³ OECD, 2012. Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264130807-en>

⁴ OECD, 2014, The Cost of Air Pollution: Health Impacts of Road Transport, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264210448-en>

⁵ OECD, 2016. The cost of air pollution in Africa. Working Paper No. 333

⁶ Pour certains pays, l'utilisation du Revenu National Brut (RNB) par habitant en lieu et place du PIB par habitant pourrait être plus approprié. Dans le cas du Sénégal, on a testé l'utilisation du RNB par habitant pour le calcul de la VVS. Les résultats obtenus sont quasiment analogues à ceux obtenus en utilisant le PIB comme la méthodologie de l'OCDE le préconise.

3.1.1.2 RESULTAT

Les données économiques des pays hors OCDE sont issues de la Banque Mondiale, et le résultat de l'application de la formule présentée plus haut permet d'obtenir une valeur de la VVS_{2021} pour le Sénégal s'élevant 1,245 millions \$US₂₀₂₁, soit près de 274 millions de FCFA₂₀₂₁.

Paramètres	Monnaie	VVS Ajustée pour le Sénégal
« VVS » OCDE pour les 27 pays d'Europe	USD ₂₀₀₅	3 600 000
Y SENEGAL 2005 (Produit intérieur brut par tête PPP)	USD ₂₀₀₅	2 381
Y EU27 2005 (Produit intérieur brut par tête PPP)	USD ₂₀₀₅	26 815
Coefficient β		0,8
$(Y_{SEN} / Y_{EU27})^\beta$		0,144
%var P SENEGAL (inflation 2005-20021)		36,9 %
%var Y SENEGAL (PIB par tête 2005-2021)		24,4 %
$(1 + \% \Delta P) * (1 + \% \Delta Y)^\beta$		1,629
Taux de change ajusté PPP 2005 FCFA/USD		219,85
Taux de change ajusté PPP 2005 EUR/USD		0,853
VVS SENEGAL 2021	USD₂₀₂₁	1 245 240
	FCFA₂₀₂₁	273 766 024
	EUR₂₀₂₁	1 062 190

Tableau 1 : Valeur d'une vie statistique (VVS) ajustée pour le Sénégal

Afin de vérifier que la pandémie n'avait pas d'effet notable sur l'estimation de la VVS_{2021} , on a effectué un calcul équivalent pour l'année 2019 qui conduit à une valeur 1% inférieure à celle estimée pour 2021. Le creux de 2020 lié au COVID a donc été plus que compensé par la reprise de 2021 et l'effet de la pandémie sur l'économie sénégalaise n'a donc qu'un impact limité sur l'estimation de la VVS_{2021} .

3.1.2 LA VALEUR D'UNE ANNEE DE VIE (VAV OU VOLY)

3.1.2.1 METHODOLOGIE

Une autre approche a été développée aux USA à partir des années 90 basée sur la Valeur d'une Année de Vie (VAV ou VOLY : Value of a Life Year). Dans ce cas on utilise le nombre d'année de vie perdue (AVP) en lieu et place du nombre de décès prématurés.

Avec cette méthode, la mortalité prématurée d'un groupe de personnes jeunes sera plus valorisée que la même mortalité prématurée d'un groupe de personnes plus âgées puisqu'il aura plus d'année de vie perdue dans le premier groupe. Mais à l'inverse, le capital accumulé par les personnes plus âgées ne sera pas valorisé comme dans le cas de l'estimation de la VVS et il est donc assez difficile de dire a priori laquelle des deux méthodes conduit à la valorisation la plus importante. Dans une étude récente comparant différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique en Europe, Holland et al⁷ ont montré que l'utilisation de l'approche par les années de vies perdues et la VAV conduit à une valorisation environ deux fois moins importante de la mortalité évitée comparée à l'utilisation de l'approche par la VVS.

La VAV dérive directement de la VVS, plusieurs méthodes de calcul existent ; par cohérence avec la méthode, pour obtenir une valeur de VAV adaptée au cas du Sénégal on peut appliquer la méthode d'ajustement de l'OCDE décrite pour la VVS.

⁷ Holland M (2014). Cost-benefit analysis of final policy scenarios for the EU clean air package. Version 2. Corresponding to IIASA TSAP report #11, version 1. Luxembourg: International Institute for Applied Systems Analysis

3.1.2.2 RESULTAT

L'application de la méthodologie présentée ci-dessus permet d'obtenir les résultats suivants :

Paramètres	Monnaie	VOLY Ajustée pour le Sénégal
« VAVS » NewExt pour l'Europe	USD ₂₀₀₅	130 385
Y SENEGAL 2005 (Produit intérieur brut par tête PPP)	USD ₂₀₀₅	2 381
Y EU27 2005 (Produit intérieur brut par tête PPP)	USD ₂₀₀₅	26 815
Coefficient β		0,8
$(Y_{SEN} / Y_{EU27})^\beta$		0,144
%var P SENEGAL (inflation 2005-20021)		36,9 %
%var Y SENEGAL (PIB par tête 2005-2021)		24,4 %
$(1 + \% \Delta P) * (1 + \% \Delta Y)^\beta$		1,629
Taux de change ajusté PPP 2005 FCFA/USD		219,85
Taux de change ajusté PPP 2005 EUR/USD		0,853
VOLY SENEGAL 2021	USD₂₀₂₁	45 100
	FCFA₂₀₂₁	9 915 273
	EUR₂₀₂₁	38 470

Tableau 2 : Valeur d'une vie statistique (VAV ou VOLY) ajustée pour le Sénégal

réalisation de l'objectif principal de l'accord de Paris, à savoir maintenir l'augmentation de la température en dessous de 2 degrés.

La projection pour l'année 2050 est calculée en utilisant le même taux de croissance de 2.25% par an, en extrapolant les prix de carbone de 2030 à 2050, ce qui aboutit aux valeurs de 78US\$ à 158US\$ en 2050.

Cette méthodologie recommande d'estimer la valeur du carbone, moyennant un intervalle au lieu d'une valeur unique. Ce choix est justifié par le caractère incertain de la valeur du carbone qui peut répondre aux exigences de l'accord de Paris, ainsi que par l'imprévisibilité des tendances socio-économiques et technologiques dans différents pays.

D'après le rapport de la Commission de haut niveau sur le prix du carbone en 2017, considérer un prix du carbone uniforme ne sera optimal que si le transfert des ressources est illimité entre les pays. Dans ce cas, on peut séparer la question de l'emplacement des réductions d'émissions, de la question de qui doit les payer.

3.2 PRIX DU CARBONE

3.2.1 METHODOLOGIE

La méthode de valorisation du carbone que nous proposons de mettre en œuvre correspond à la méthode « shadow price » utilisée pour évaluer les GES dans le cadre des analyses économiques des projets d'investissement et de financement de la IBRD (Banque internationale pour la reconstruction et le développement) et de l'IDA (Association internationale de développement).

La Commission de haut niveau sur le prix du carbone, a conclu, en se basant sur la base d'un examen approfondi, qu'une fourchette de 40 à 80 US\$ par tonne de CO₂ en 2020, passant à 50 à 100 US\$ par tonne de CO₂ en 2030, est compatible avec la

3.2.2 RESULTATS

Le coût de carbone, pris en compte dans les analyses économiques des externalités, est multiplié par les émissions annuelles des GES (tCO₂).

Le graphe ci-dessous montre la variation des coûts de carbone :

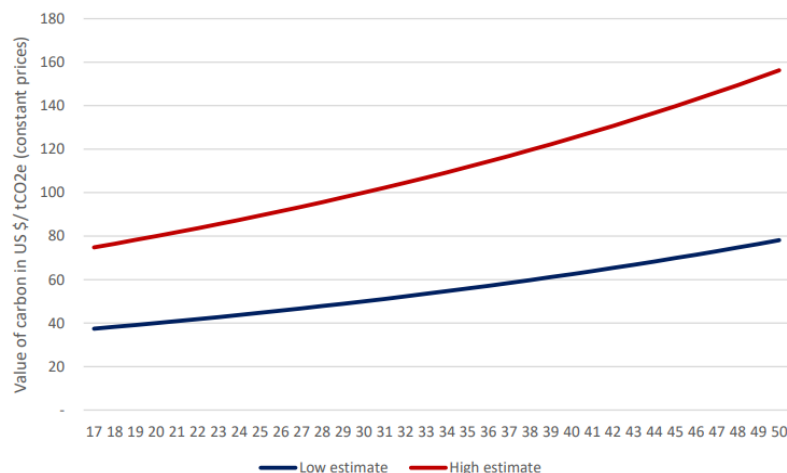


Figure 1: Valeur du coût de carbone « shadow price »

Sur la base du graphique précédent et pour l'année 2021, le coût de la tonne de carbone correspond donc à

- Valeur basse : 41 US\$ par tonne de CO₂ soit 22 736 FCFA
- Valeur haute : 82 US\$ par tonne de CO₂ soit 45 472 FCFA

3.3 VALEUR DU TEMPS

3.3.1 CADRE THEORIQUE

Définition

La valeur du temps représente le montant qu'un usager des transports est prêt à payer pour réduire son temps de trajet. Elle intervient donc à la fois dans le processus de choix modal (arbitrage entre l'utilisation du TER ou le recours à un véhicule individuel), dans le processus de choix d'itinéraire (arbitrage entre l'utilisation de l'autoroute à péage ou de la route nationale) et bien sûr dans l'estimation des avantages d'un projet (monétarisation des gains de temps) ou des externalités du transport (valorisation de la congestion).

La valeur du temps des usagers des transports dépend de nombreux facteurs dont les plus fréquemment cités sont le motif de déplacement, la classe du revenu, la fréquence du déplacement ou encore le mode de transport utilisé. Pour les transports collectifs, temps d'attente, temps d'accès et de diffusion et temps à bord des véhicules sont généralement valorisés différemment. Le niveau de confort ou la possibilité de réaliser d'autres activités durant le déplacement influent également sur la valeur du temps.

Modes d'estimations de la valeur du temps

Il existe aujourd'hui trois grandes méthodes d'estimation de la valeur du temps :

- Le recours à des analyses économiques mettant en relation le salaire horaire et la valeur du temps : une partie du temps passée à se déplacer pourrait être employé à travailler et c'est sur cette base que l'on peut estimer la valeur du temps,
- L'analyse des comportements observés des usagers des transports pour des situations où ils doivent arbitrer entre coût et temps. On parle alors d'analyse de préférences révélées.
- L'analyse de résultats d'enquêtes où on propose à la personne interrogée différentes situations d'arbitrages en coût et temps et où on va lui demander ses choix / préférences entre les alternatives proposées. On parle alors d'analyse de préférences déclarées.

A Dakar, l'ensemble de ces techniques ont déjà été mises en œuvre relativement récemment. Le paragraphe suivant en rappelle les principaux résultats et propose une valeur à retenir pour la suite.

3.3.2 LES ESTIMATIONS DE LA VALEUR DU TEMPS A DAKAR

De nombreuses analyses ont été réalisées ces dernières années à Dakar sur le sujet de la valeur du temps. La plupart d'entre elles l'ont été dans le cadre des projets de transport collectif massifiés que sont le TER et le BRT. Le tableau ci-dessous récapitule différents résultats.

Type analyse	Projet	Mode	Valeur du temps (FCFA /h)	Année
Enquêtes PD	TER	TC	824	2015
Enquêtes PD	BRT	TC	545	2016
Audit	BRT	TC	495	2016
Analyse économique	TER	TC	500	2017
Moyenne de plusieurs enquêtes PD	BRT	VP	2 300	2017
Moyenne de plusieurs enquêtes PD	BRT	Taxi	2 350	2017
Moyenne de plusieurs enquêtes PD	BRT	TC	180	2017
Enquêtes PR	Modèle Multimodal	Tous modes	487	2015

PD : Préférences déclarées / PR : Préférences révélées

Tableau 3 : Exemples de valeurs du temps estimées à Dakar

Les toutes premières enquêtes de préférences déclarées qui ont été réalisées ont conduit à de premières estimations assez élevées de la valeur du temps moyenne des dakarois usagers des TC. Ces données ont ensuite été expertisées ce qui a conduit à des résultats globalement inférieurs.

De manière alternative, il a également été réalisé une estimation de la valeur du temps sur la base d'un pourcentage du salaire horaire⁸ (usuellement entre 60% et 80% selon les motifs, on a retenu ici le ratio de 2/3). Sur la base des données de l'Enquête nationale sur l'emploi au Sénégal en 2017, le salaire moyen peut être estimé à 142 806 FCFA/mois en milieu urbain. Avec en moyenne 55 heures de travail par semaine (Enquête WageIndicator 2012), on obtient un salaire horaire de 649 FCFA, d'où une valeur du temps de l'ordre de 430 FCFA/heure. Un salaire de 154 000 FCFA est cependant relativement faible pour la ville de Dakar, qui concentre l'activité économique du pays. On peut trouver des emplois avec des salaires mensuels de l'ordre de 200 000 FCFA, mais la valeur que l'on adopte ici doit également être représentative des emplois du secteur informel, dont les niveaux de salaire sont assez inférieurs. On cherche donc à considérer aussi cette catégorie, qui constitue une part importante des usagers TC. Une valeur de 500 FCFA/heure sera retenue comme valeur moyenne à l'issue de ces analyses économiques.

D'autres enquêtes de préférences déclarées menées dans le cadre du projet de BRT ont par ailleurs été réalisées en 2017. Elles ont été réalisées par mode et conduisent à des valeurs de 2 000 FCFA pour les usagers de la voiture individuelle et des taxis et de l'ordre de 180 FCFA pour les usagers des TC. Pour ces usagers motorisés, une moyenne sur la base des parts modales de l'EMTASUD conduit à une valeur du temps de l'ordre de **900 FCFA**. On notera que ces valeurs sont sensiblement supérieures à d'autres analyses menées par mode en 2004 et qui conduisaient à une valeur moyenne de l'ordre de 500 FCFA (en valeur 2015) pour ces mêmes usagers motorisés.

La dernière valeur du temps du tableau a été établie sur la base des résultats de calage des formulations de choix modal du modèle multimodal de déplacements du CETUD : la donnée de base correspond à l'EMTASUD et il s'agit donc de données de préférences révélées. Dans ce modèle, la valeur du temps dérivée directement des coefficients des formules d'utilité est distinguée par catégorie d'individus. Si l'on exclut la dernière catégorie des usagers du modèle qui correspond aux élèves non étudiants, on obtient une valeur moyenne de **502 FCFA** pour l'année 2015 au lieu de

utilisé pour le calcul doit être connu précisément pour les individus dont on souhaite calculer la valeur du temps : ce n'est pas forcément le cas ici pour les individus utilisant les modes motorisés. C'est pourquoi on préfère avoir recours aux nombreuses études de préférences révélées et déclarées réalisées sur l'agglomération de Dakar

⁸ L'estimation via une analyse économique est intéressante pour objectiver les estimations faites lors d'analyses de comportements de déplacements (préférences révélées) ou de données de préférences déclarées. Mais elle est associée à des déplacements domicile travail ou professionnels qui ne représentent pas la totalité des déplacements. Par ailleurs, le revenu

487 FCFA. Cette valeur du temps concerne l'ensemble des dakarois quel que soit leur mode de déplacement.

3.3.3 CHOIX D'UNE VALEUR DU TEMPS POUR LA VALORISATION DE LA CONGESTION

En faisant évoluer⁹ les deux dernières estimations présentées au paragraphe précédent (**900 FCFA** pour l'année 2017 établie sur la base de l'analyse des Enquêtes de Préférences Déclarées et **502 FCFA** pour l'année 2015 établie sur la base des comportements de mobilité observés des dakarois source EMATSUS) à l'année 2021, on obtient ainsi deux estimations de la valeur du temps.

Pour l'évaluation du coût de la congestion, on propose de retenir la moyenne de ces estimations qui ont chacune leurs avantages : l'estimation basée sur les enquêtes de préférences déclarées est bien centrée sur les modes motorisés tandis que l'estimation basée sur les préférences révélées a l'avantage d'être ajustée sur des comportements observés même s'ils dépassent les seuls modes motorisés.

Année	Base PD	Base PR	Valeur proposée
2015		502	
2017	900		
2021	1 038	639	838

PD : Préférences déclarées / PR : Préférences révélées

Tableau 4 : Valeur du temps proposée pour la valorisation de la congestion en FCFA/h

⁹ Le passage de la valeur du temps d'une année à une autre est établi sur la base de l'évolution du PIB par habitant et de la dérive des prix sur la période.

¹⁰ Pour l'identification des clandos, les enquêteurs étant des dakarois ayant l'habitude de les repérer facilement, la distinction s'est faite par l'état de la voiture (généralement très vétuste,

3.4 DONNEES ROUTIERES

3.4.1 LE RECUEIL

Lors de la phase de recueil, différentes données routières ont été recueillies. Il s'agit de comptages par type de véhicule¹⁰ et par heure complétées par des relevés de plaque minéralogique et des mesures d'occupation visuelle dont les résultats sont utilisés pour alimenter plusieurs des analyses présentées dans la suite.

Initialement prévu sur une journée, la collecte de données elle-même s'est déroulée sur deux jours moyens de semaine, les mardi 10 et jeudi 12 mai 2022. En effet, afin de garantir la qualité des relevés, il a été décidé, en accord avec le CETUD, d'enquêter les 20 sites en deux temps, c'est-à-dire 10 sites enquêtés pour chaque journée de comptage.

Sur la journée de comptages du 10 mai 2022, les 10 sites suivants ont été réalisés :

Tableau 5 : Collecte de données routières - sites enquêtés le 10/05/2022

Jour de comptage	Postes	Sites	Point de repère	Description Site
10.05.2022	Poste 1	Mermoz Sotrac	ENEA	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense aux heures de pointe.
10.05.2022	Poste 2	Avenue Lamine Gueye	Building Maginaux	Un sens aller / un sens retour, circulation dense en permanence.
10.05.2022	Poste 3	Bambilor	Mairie Bambilor	Un sens aller / un sens retour, circulation dense.
10.05.2022	Poste 4	Avenue Bourguiba	Mairie Grand Dakar	Un sens aller / un sens retour, circulation dense en permanence.
10.05.2022	Poste 7	Deux voies Liberté 6	SAMU LIBERTE 6	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense.

parfois sans plaque, sans feu de signalisation), l'occupation du véhicule et le circuit sur lequel la voiture a été décomptée (les itinéraires et les garages des clandos sont connus).

10.05.2022	Poste 8	Golf Sud	Supeco Golf	Un sens aller / un sens retour, circulation dense en permanence à cause de la déviation.
10.05.2022	Poste 9	Hann Yarakh	Centre de santé de Hann	Un sens aller / un sens retour, circulation dense en permanence.
10.05.2022	Poste 10	Route des hydrocarbures - Bel Air	Camp 23 ^{ème} Bima	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense aux heures de pointe.
10.05.2022	Poste 12	Corniche Ouest	Maison de la Presse	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense aux heures de pointe, des travaux sur la route sont en cours.
10.05.2022	Poste 15	Ngor Almadies	Stade de Ngor	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation très dense : deux enquêteurs ont été fixés sur chaque sens aux heures de pointe.

Sur la journée de comptages du 12 mai 2022, les 10 sites suivants ont été réalisés :

Tableau 6 : Collecte de données routières - sites enquêtés le 12/05/2022

Jour de comptage	Postes	Sites	Point de repère	Description Site
12.05.2022	Poste 5	Thiaroye	Poste Thiaroye	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense à très dense : deux enquêteurs ont été fixés sur chaque sens.
12.05.2022	Poste 6	Croisement Keur Massar	Eglise KMS	Un sens aller / un sens retour, circulation dense en permanence, des travaux sont en cours sur cet axe, deux enquêteurs ont été fixés sur chaque sens.
12.05.2022	Poste 11	Lycée Limamou Laye Guédiawaye	Lycée Limamou Laye	Un sens aller / un sens retour, circulation dense.
12.05.2022	Poste 13	Pikine Nord	Mairie Pikine Nord	Un sens aller / un sens retour, circulation dense.
12.05.2022	Poste 14	Grand Mbao	Mairie Grand Mbao	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense très dense : deux enquêteurs ont été fixés sur chaque sens.
12.05.2022	Poste 16	Allé Papa Gueye Fall	Ecole Papa Gueye Fall	Un sens aller / un sens retour, circulation dense en permanence, des travaux de réfection de la route sont en cours
12.05.2022	Poste 17	Rufisque	Mairie Rufisque	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense à très dense : deux enquêteurs ont été fixés sur chaque sens.
12.05.2022	Poste 18	Diamniadio	Hôtel de ville Diamniadio	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense à très dense : deux enquêteurs ont été fixés sur chaque sens.

12.05.2022	Poste 19	Patte d'oie	Mairie Patte d'oie	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense aux heures de pointe, des travaux sur la route sont en cours.
12.05.2022	Poste 20	Pikine Cité Lobât Fall	EDK PIKINE	Double sens, deux voies dans les deux sens, circulation dense à très dense : deux enquêteurs ont été fixés sur chaque sens aux heures de pointe.

Pour rappel, le processus de choix des sites de comptages a pris en compte les trois critères suivants :

- Le débit exprimé en véhicule / heure : le nombre de véhicules impacte en effet directement les différentes externalités négatives (bruit ou pollution) ;
- Le niveau de congestion calculé par le ratio débit / capacité : le niveau de congestion a des effets directs sur la consommation de carburant et donc les émissions de polluant.
- La vitesse exprimée en kilomètre / heure. La vitesse des véhicules est un facteur aggravant pour le bruit et également pour les émissions par l'intermédiaire d'une consommation accrue de carburant.

A ces critères s'ajoute un facteur de répartition géographique des points enquêtés, afin d'assurer une couverture représentative du périmètre d'étude.

La carte ci-après illustre la cartographie des sites de relevés de données routières

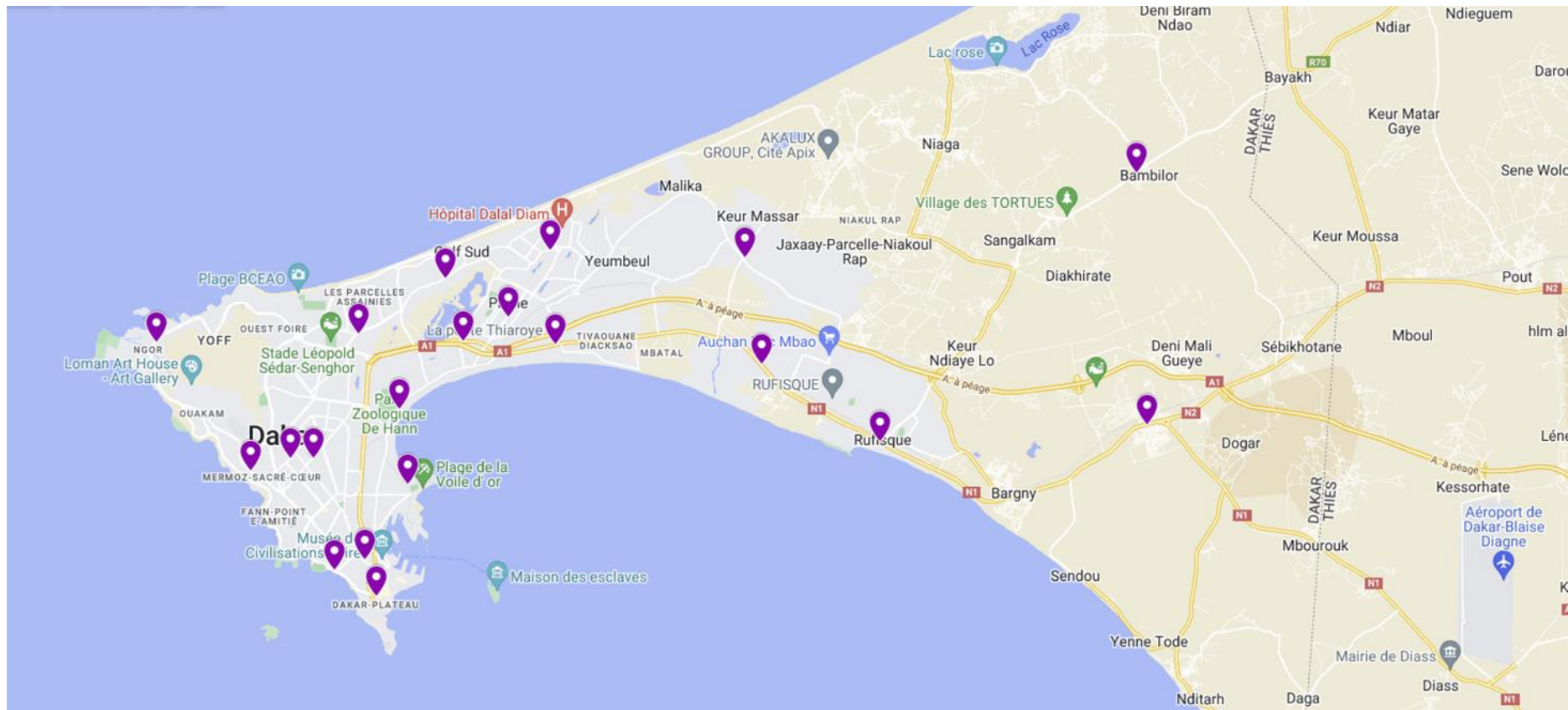
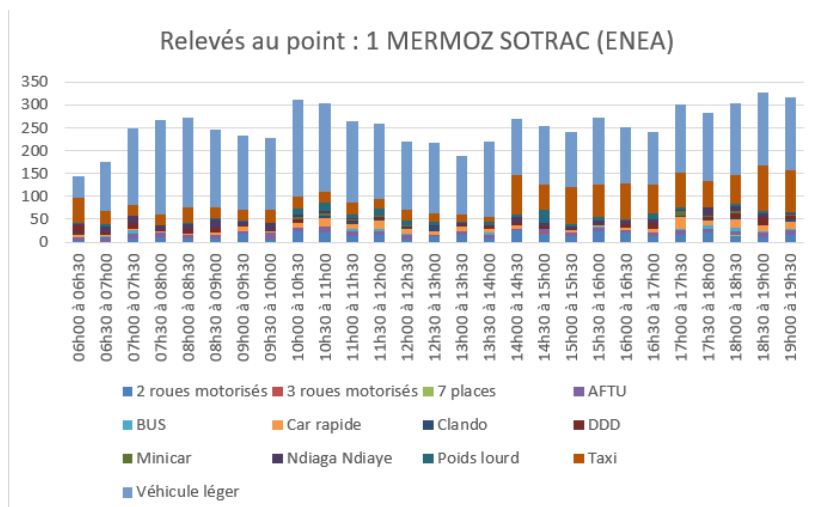


Figure 2 : Cartographie des sites de relevés de données routières

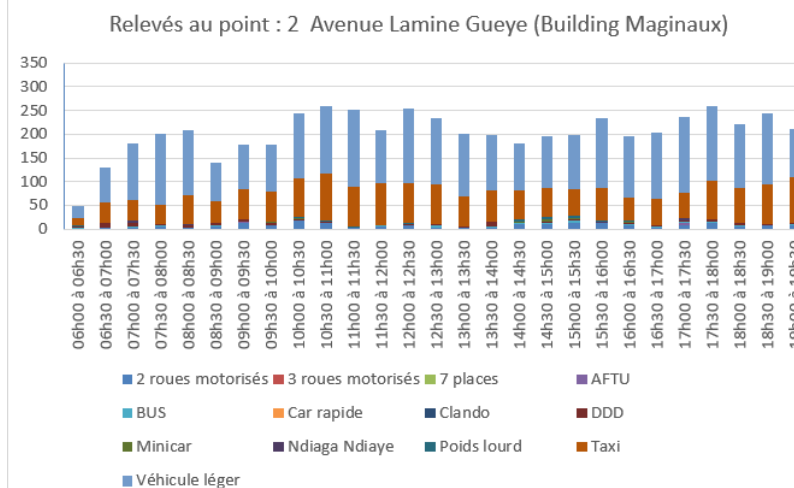
3.4.2 RESULTATS DES COMPTAGES

3.4.2.1 TRAFIC PAR POSTE



1 MERMOZ SOTRAC (Enea)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	372	5%
3 roues motorisés	5	0%
7 places	3	0%
Taxi	1 228	18%
Clando	41	1%
Véhicule léger	4 097	60%
Poids lourd	174	3%
AFTU	226	3%
DDD	169	2%
BUS	55	1%
Minicar	30	0%
Ndiaga Ndiaye	221	3%
Car rapide	246	4%
Total	6 867	100%

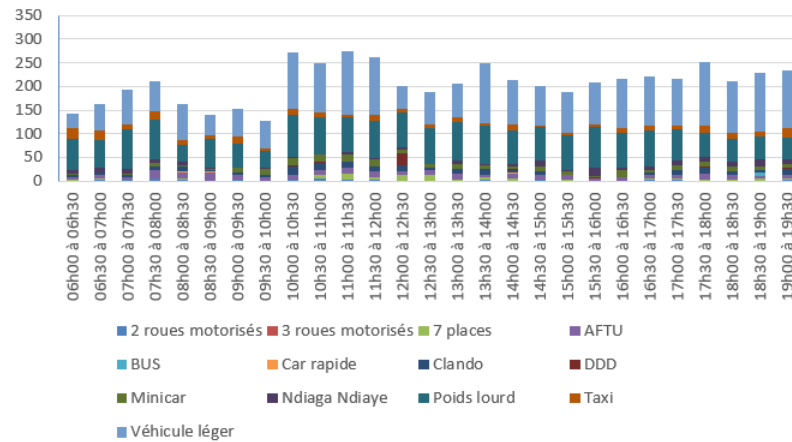
Figure 3 : Résultats principaux des comptages du poste 1



2 Avenue Lamine Gueye (Building Maginaux)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	198	4%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	0	0%
Taxi	1 774	32%
Clando	0	0%
Véhicule léger	3 315	60%
Poids lourd	29	1%
AFTU	8	0%
DDD	97	2%
BUS	41	1%
Minicar	19	0%
Ndiaga Ndiaye	16	0%
Car rapide	0	0%
Total	5 497	100%

Figure 4 : Résultats principaux des comptages du poste 2

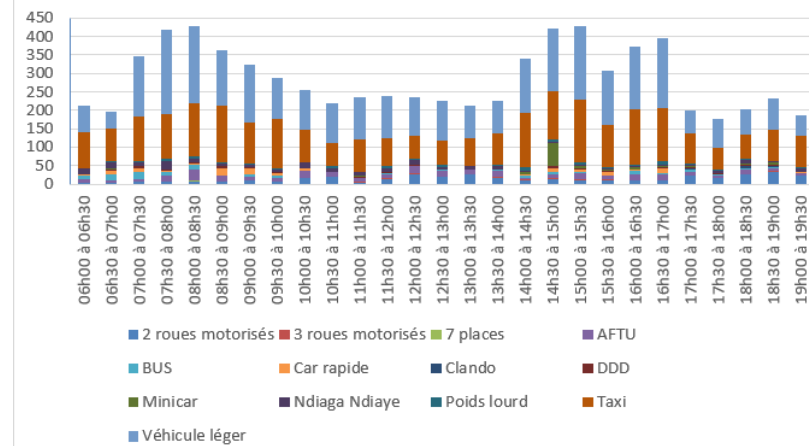
Relevés au point : 3 BAMBILOR (MARIE BAMBILOR)



3 BAMBILOR (MARIE BAMBILOR)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	56	1%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	87	2%
Taxi	300	5%
Clando	206	4%
Véhicule léger	2 401	43%
Poids lourd	1 815	32%
AFTU	255	5%
DDD	44	1%
BUS	9	0%
Minicar	225	4%
Ndiaga Ndiaye	182	3%
Car rapide	6	0%
Total	5 586	100%

Figure 5 : Résultats principaux des comptages du poste 3

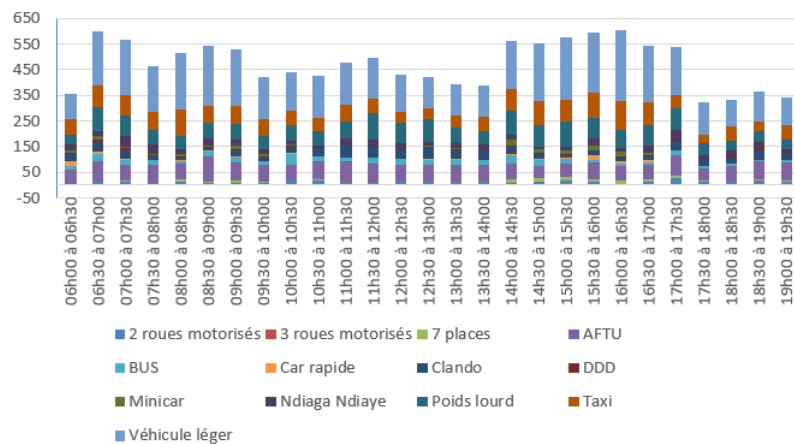
Relevés au point : 4 Avenue Bourguiba, Mairie Grand Dakar



4 Avenue Bourguiba_Mairie Grand Dakar		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	390	5%
3 roues motorisés	25	0%
7 places	1	0%
Taxi	2 807	37%
Clando	12	0%
Véhicule léger	3 334	43%
Poids lourd	98	1%
AFTU	334	4%
DDD	73	1%
BUS	134	2%
Minicar	104	1%
Ndiaga Ndiaye	237	3%
Car rapide	132	2%
Total	7 681	100%

Figure 6 : Résultats principaux des comptages du poste 4

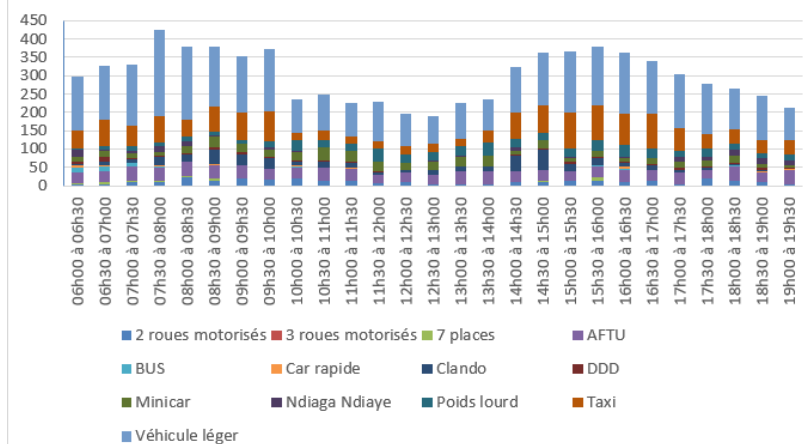
Relevés au point : 5 THIAROYE (POSTE THIAROYE)



5 THIAROYE (POSTE THIAROYE)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	354	3%
3 roues motorisés	22	0%
7 places	142	1%
Taxi	1 811	14%
Clando	722	6%
Véhicule léger	4 735	37%
Poids lourd	1 815	14%
AFTU	1 745	14%
DDD	136	1%
BUS	475	4%
Minicar	175	1%
Ndiaga Ndiaye	570	4%
Car rapide	111	1%
Total	12 813	100%

Figure 7 : Résultats principaux des comptages du poste 5

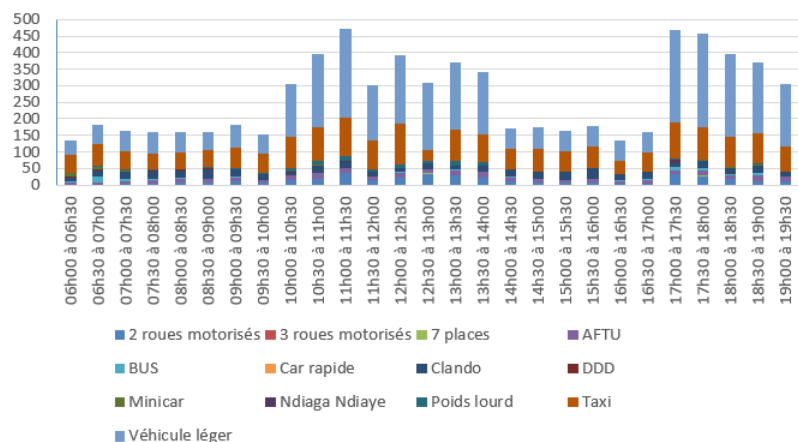
Relevés au point : 6 Croisement Keur Massar (Eglise KMS)



6 Croisement Keur Massar (Eglise KMS)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	306	4%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	38	0%
Taxi	1 432	18%
Clando	433	5%
Véhicule léger	3 633	45%
Poids lourd	527	7%
AFTU	848	10%
DDD	108	1%
BUS	58	1%
Minicar	510	6%
Ndiaga Ndiaye	167	2%
Car rapide	29	0%
Total	8 089	100%

Figure 8 : Résultats principaux des comptages du poste 6

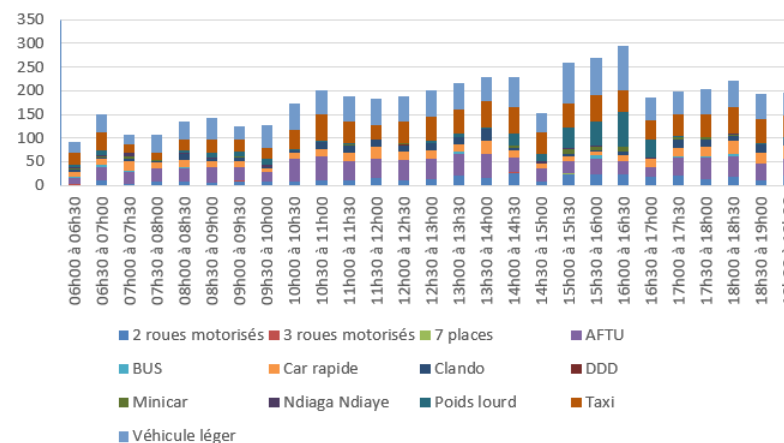
Relevés au point : 7 Liberté 6 (SAMU LIBERTE 6)



7 Liberté 6 (SAMU LIBERTE 6)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	384	5%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	8	0%
Taxi	1 994	28%
Clando	525	7%
Véhicule léger	3 679	51%
Poids lourd	106	1%
AFTU	299	4%
DDD	30	0%
BUS	88	1%
Minicar	36	1%
Ndiaga Ndiaye	7	0%
Car rapide	0	0%
Total	7 156	100%

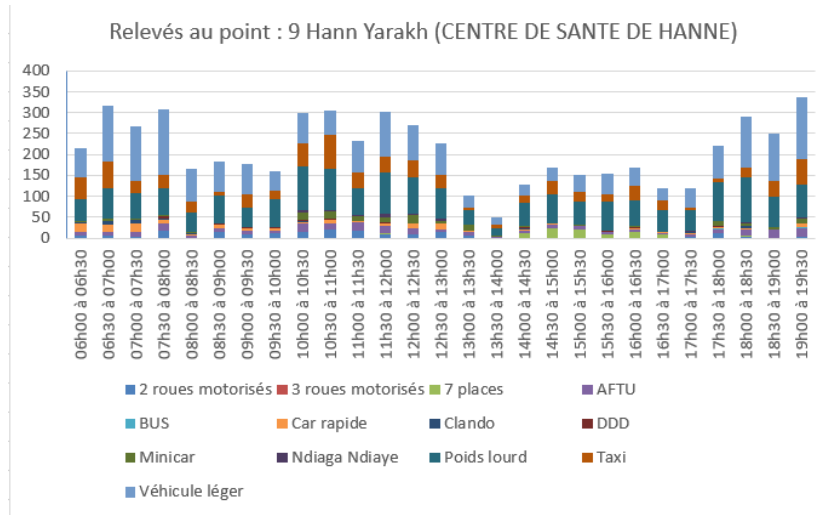
Figure 9 : Résultats principaux des comptages du poste 7

Relevés au point : 8 GOLF SUD (SUPECO GOLF)



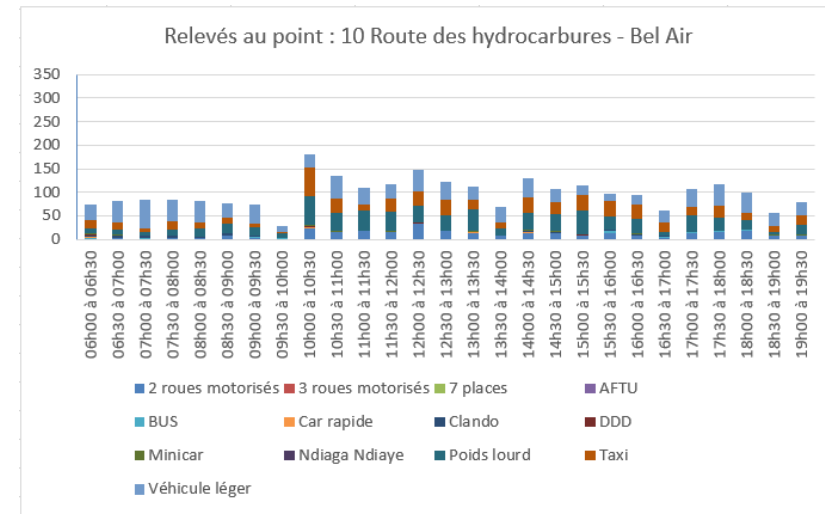
8 GOLF SUD (SUPECO GOLF)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	361	7%
3 roues motorisés	5	0%
7 places	3	0%
Taxi	1 108	22%
Clando	260	5%
Véhicule léger	1 383	28%
Poids lourd	334	7%
AFTU	928	19%
DDD	9	0%
BUS	39	1%
Minicar	57	1%
Ndiaga Ndiaye	44	1%
Car rapide	437	9%
Total	4 968	100%

Figure 10 : Résultats principaux des comptages du poste 8



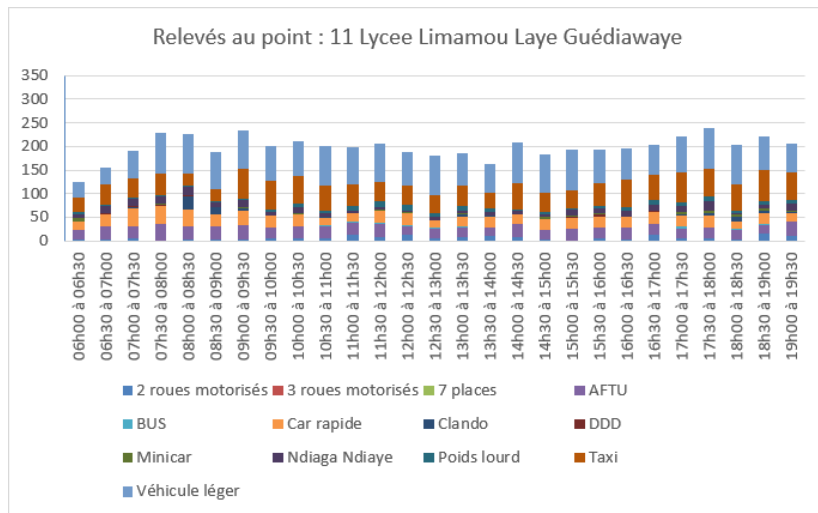
9 Hann Yarakh (CENTRE DE SANTE DE HANNE)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	181	3%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	96	2%
Taxi	853	15%
Clando	38	1%
Véhicule léger	2 008	35%
Poids lourd	1 813	32%
AFTU	291	5%
DDD	30	1%
BUS	4	0%
Minicar	159	3%
Ndiaga Ndiaye	42	1%
Car rapide	173	3%
Total	5 688	100%

Figure 11 : Résultats principaux des comptages du poste 9



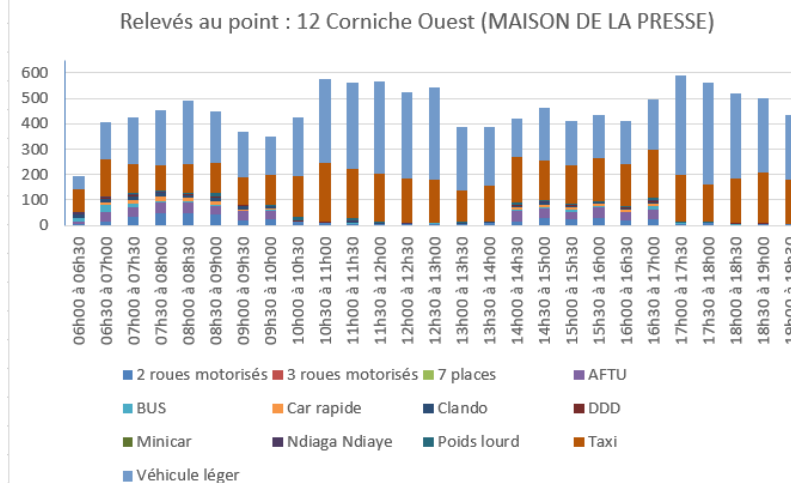
10 Route des hydrocarbures - Bel Air		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	292	11%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	0	0%
Taxi	593	22%
Clando	33	1%
Véhicule léger	936	35%
Poids lourd	712	27%
AFTU	0	0%
DDD	16	1%
BUS	25	1%
Minicar	23	1%
Ndiaga Ndiaye	1	0%
Car rapide	8	0%
Total	2 639	100%

Figure 12 : Résultats principaux des comptages du poste 10



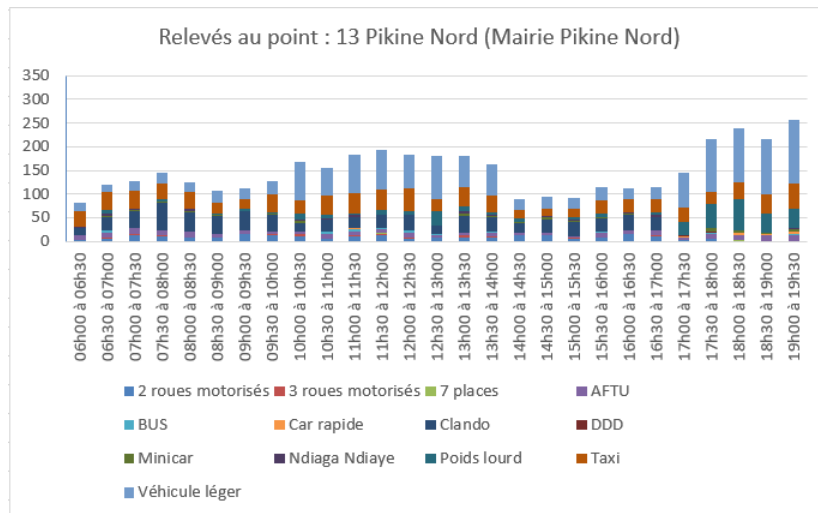
11 Lycee Limamou Laye Guédiawaye		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	172	3%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	1	0%
Taxi	1 285	24%
Clando	87	2%
Véhicule léger	1 967	37%
Poids lourd	168	3%
AFTU	649	12%
DDD	23	0%
BUS	23	0%
Minicar	49	1%
Ndiaga Ndiaye	285	5%
Car rapide	645	12%
Total	5 354	100%

Figure 13 : Résultats principaux des comptages du poste 11



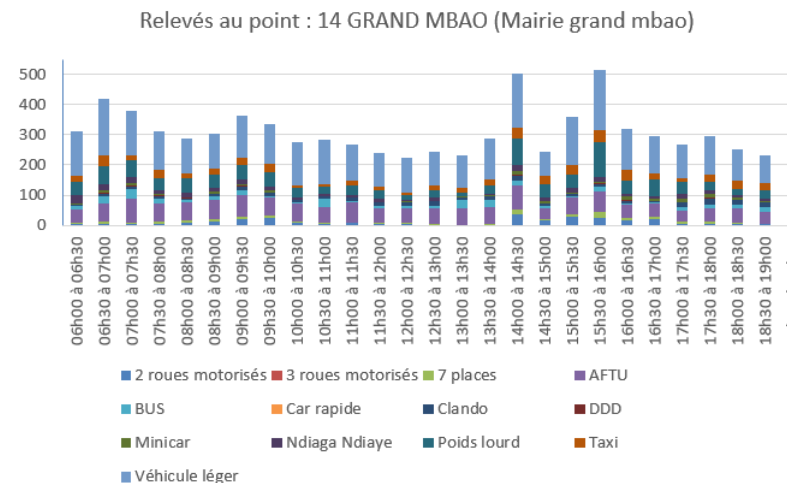
12 Corniche Ouest (MAISON DE LA PRESSE)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	441	4%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	9	0%
Taxi	4 152	34%
Clando	145	1%
Véhicule léger	6 578	53%
Poids lourd	134	1%
AFTU	501	4%
DDD	67	1%
BUS	138	1%
Minicar	1	0%
Ndiaga Ndiaye	35	0%
Car rapide	145	1%
Total	12 346	100%

Figure 14 : Résultats principaux des comptages du poste 12



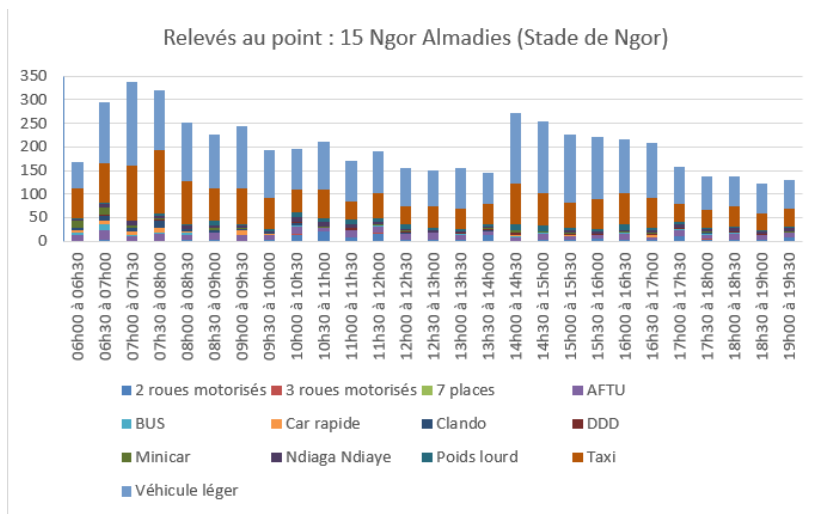
13 Pikine Nord (Mairie Pikine Nord)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	223	6%
3 roues motorisés	35	1%
7 places	5	0%
Taxi	880	22%
Clando	672	17%
Véhicule léger	1 471	36%
Poids lourd	364	9%
AFTU	217	5%
DDD	10	0%
BUS	36	1%
Minicar	61	2%
Ndiaga Ndiaye	47	1%
Car rapide	17	0%
Total	4 038	100%

Figure 15 : Résultats principaux des comptages du poste 13



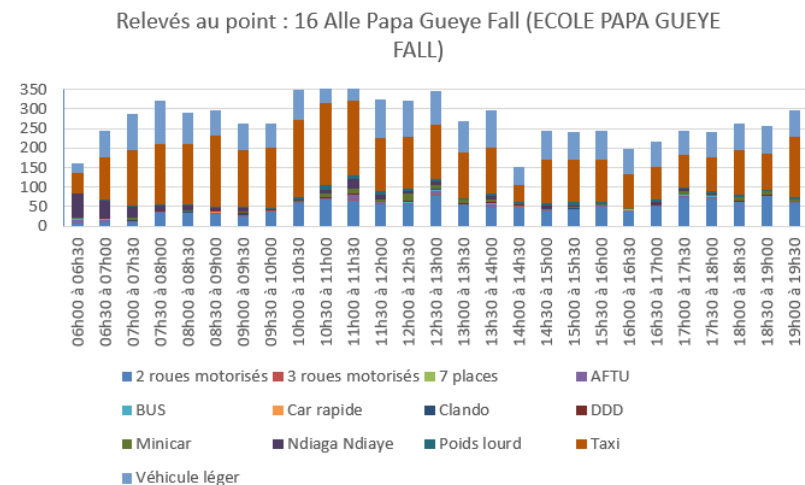
14 GRAND MBAO (Mairie grand mbao)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	276	3%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	173	2%
Taxi	570	7%
Clando	290	4%
Véhicule léger	3 512	43%
Poids lourd	1 115	14%
AFTU	1 459	18%
DDD	42	1%
BUS	350	4%
Minicar	141	2%
Ndiaga Ndiaye	315	4%
Car rapide	1	0%
Total	8 244	100%

Figure 16 : Résultats principaux des comptages du poste 14



15 Ngor Almadies (Stade de Ngor)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	137	2%
3 roues motorisés	6	0%
7 places	0	0%
Taxi	1 659	30%
Clando	68	1%
Véhicule léger	2 786	51%
Poids lourd	169	3%
AFTU	310	6%
DDD	40	1%
BUS	51	1%
Minicar	71	1%
Ndiaga Ndiaye	146	3%
Car rapide	54	1%
Total	5 497	100%

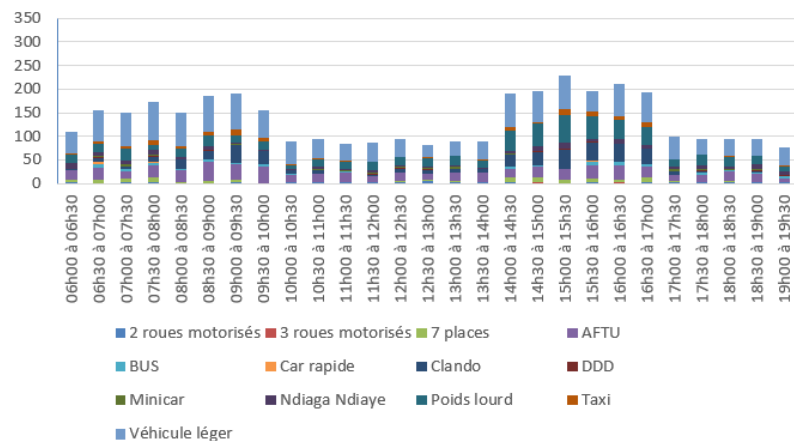
Figure 17 : Résultats principaux des comptages du poste 15



16 Alle Papa Gueye Fall (ECOLE PAPA GUEYE FALL)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	1 289	17%
3 roues motorisés	22	0%
7 places	0	0%
Taxi	3 399	46%
Clando	21	0%
Véhicule léger	2 014	27%
Poids lourd	132	2%
AFTU	92	1%
DDD	44	1%
BUS	17	0%
Minicar	130	2%
Ndiaga Ndiaye	286	4%
Car rapide	3	0%
Total	7 449	100%

Figure 18 : Résultats principaux des comptages du poste 16

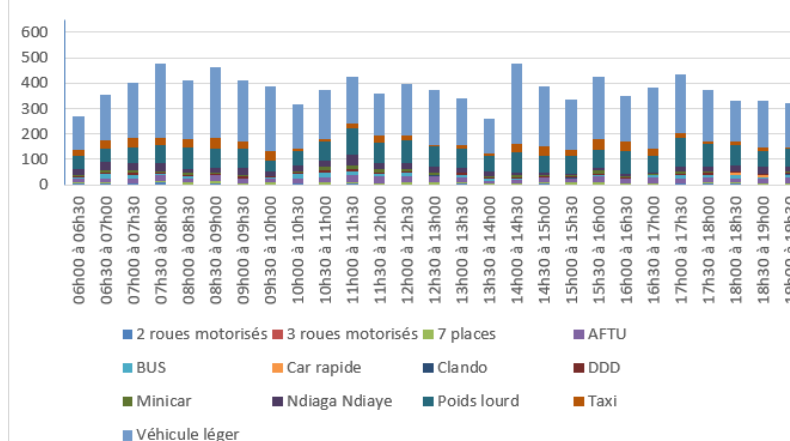
Relevés au point : 17 Rufisque (Mairie Rufisque)



17 Rufisque (Mairie Rufisque)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	58	2%
3 roues motorisés	4	0%
7 places	107	3%
Taxi	118	3%
Clando	393	11%
Véhicule léger	1 413	39%
Poids lourd	639	18%
AFTU	571	16%
DDD	31	1%
BUS	88	2%
Minicar	49	1%
Ndiaga Ndiaye	161	4%
Car rapide	10	0%
Total	3 642	100%

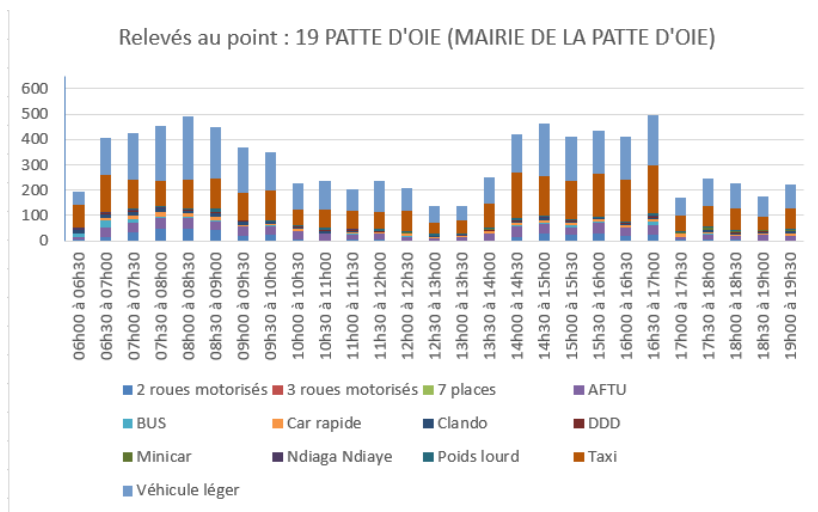
Figure 19 : Résultats principaux des comptages du poste 17

Relevés au point : 18 Diamniadio (Hotel de Diamniadio)



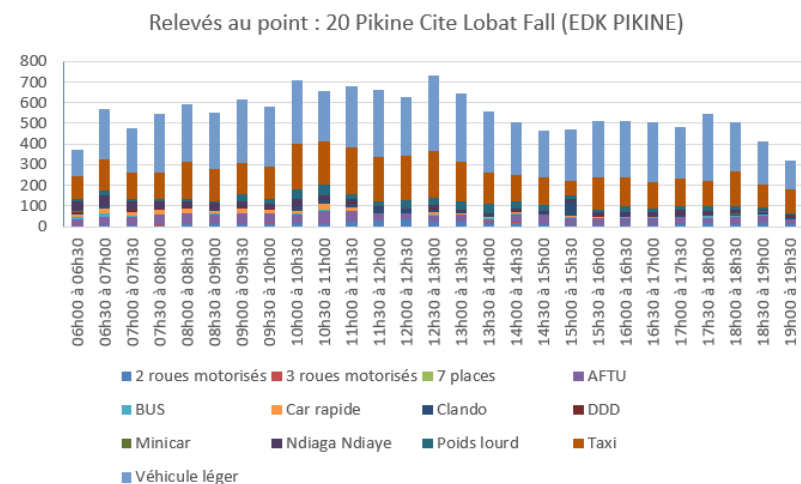
18 Diamniadio (Hotel de Diamniadio)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	57	1%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	167	2%
Taxi	629	6%
Clando	15	0%
Véhicule léger	5 646	56%
Poids lourd	2 000	20%
AFTU	522	5%
DDD	145	1%
BUS	214	2%
Minicar	182	2%
Ndiaga Ndiaye	560	6%
Car rapide	18	0%
Total	10 155	100%

Figure 20 : Résultats principaux des comptages du poste 18



19 PATTE D'OIE (MAIRIE DE LA PATTE D'OIE)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	399	5%
3 roues motorisés	0	0%
7 places	9	0%
Taxi	2 802	33%
Clando	174	2%
Véhicule léger	3 655	43%
Poids lourd	143	2%
AFTU	767	9%
DDD	82	1%
BUS	107	1%
Minicar	40	0%
Ndiaga Ndiaye	34	0%
Car rapide	237	3%
Total	8 449	100%

Figure 21 : Résultats principaux des comptages du poste 19



20 Pikine Cite Lobat Fall (EDK PIKINE)		
Type de véhicules	Nombre de véhicules	Pourcentage
2 roues motorisés	391	3%
3 roues motorisés	8	0%
7 places	1	0%
Taxi	4 226	29%
Clando	253	2%
Véhicule léger	7 197	49%
Poids lourd	655	4%
AFTU	1 037	7%
DDD	94	1%
BUS	104	1%
Minicar	31	0%
Ndiaga Ndiaye	583	4%
Car rapide	239	2%
Total	14 819	100%

Figure 22 : Résultats principaux des comptages du poste 20

3.4.2.2 TAUX D'OCCUPATION

Les relevés d'occupation visuelle permettent d'estimer le taux d'occupation des véhicules. Pour les bus, il s'agit d'une estimation du taux d'occupation sur la base d'un pourcentage (0%, 25%, 50%, 75%, 100%), pour les autres véhicules, il s'agit d'un nombre d'occupants.

Type de véhicules	Nombre de véhicules	Nombre d'occupants	taux d'occupation
2 roues motorisés	6 337	7 794	1,23
3 roues motorisés	132	175	1,33
7 places	850	3 829	4,50
Taxi	33 620	60 606	1,80
Clando	4 388	11 250	2,56
Véhicule léger	65 768	111 633	1,70
Poids lourd	12 942	22 303	1,72
AFTU	11 060		83%
DDD	1 290		59%
BUS	2 056		50%
Minicar	2 093		41%
Ndiaga Ndiaye	3 939		61%
Car rapide	2 511		72%
Moyenne Bus	22 949		70%

Nb : taux d'occupation en % pour les bus

Tableau 7 : Taux d'occupation par type de véhicule

4 EXTERNALITÉS LIÉES À LA CONGESTION ROUTIÈRE

4.1 ANALYSE DES RELEVÉS DE TEMPS DE PARCOURS

4.1.1 METHODOLOGIE

Pour les relevés de temps de parcours, la méthode par relevé Google sur des axes dimensionnant de l'agglomération dakaraise a été appliquée. Cette méthode est en cohérence avec les données recueillies et utilisées dans le cadre du modèle multimodal de déplacements. Elle permet également un meilleur échantillonnage.

La méthode utilisée a consisté à effectuer des relevés de temps parcours sur des itinéraires bien spécifiques via Google Maps. La carte page suivante présente les itinéraires et axes dimensionnants de l'agglomération pour lesquels les recueils ont été effectués dans les deux sens de circulation. De façon à s'assurer que les recueils permettent effectivement d'obtenir les temps sur les tronçons sélectionnés, c'est en fait 76 Origine-Destination (OD) partielles qui ont été requêtées de manière automatique avec différentes fréquences de recueil en fonction des périodes de la journée.

Ces fréquences sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Fréquence d'extraction des données Google Maps

Période	Frequences (extractions par heure)	Debut	Fin	Plage
PPM	4	08:00	10:00	2,0
Midi	2	10:00	17:00	7,0
PPS	4	17:00	19:00	2,0
PPSs	0,5	19:00	20:00	1,0
Autres	0,25	20:00	08:00	12,0

Au total, ce sont donc plus de 33 extractions qui ont été réalisées par jour pour chacune des 76 OD partielles. Sur 10 jours de recueil (2 x 5 jours ouvrés, du lundi 23 mai au vendredi 27 mai, puis du lundi 30 mai au vendredi 3 juin), cela correspond à plus de 25 000 extractions.



Figure 23: Itinéraires retenus pour les recueils de temps de parcours

4.1.2 RESULTATS DES MESURES

4.1.2.1 ANALYSES BRUTES DES MESURES DE TEMPS DE PARCOURS

Le tableau page suivante présente les mesures de temps de parcours effectuées en mai 2022 sur les différents itinéraires présentés précédemment.

Les temps de déplacement moyen, tous horaires confondus, sont globalement supérieurs de 40% au temps le plus rapide, généralement mesuré la nuit et également dénommé dans la suite temps à vide c'est-à-dire quasiment sans circulation.

Les déplacements pendulaires vers le centre de Dakar et la zone du Plateau exercent une influence importante sur les temps de parcours au cours de la journée. Ainsi, on observe la formation de ralentissements très prononcés le matin en direction du Plateau sur les itinéraires radiaux (A, R, V, C et M).

Ces ralentissements ont tendance à se produire en sens inverse le reste de la journée.

On observe que, pour les itinéraires radiaux, les vitesses atteintes en heure du midi (dénommée heure creuse dans les tableaux) restent relativement proches de celles en heure de pointe dans les sens les plus ralentis. Elles sont même parfois encore plus basses. Ce phénomène est également observé sur les itinéraires Est-Ouest

C'est peut-être la traduction d'un renforcement des déplacements en période du midi par rapport à la situation 2015 et d'un étalement de la congestion routière en flanc de périodes de pointe comme on peut l'observer dans d'autres agglomérations.

Les itinéraires R1, R2 et R3 sont des itinéraires transverses dans la partie la plus dense de l'agglomération. De ce fait, étant donné leur position par rapport aux voies pénétrantes vers le centre-ville, ils se congestionnent dans les deux sens simultanément. La vitesse à vide sur ces itinéraires est également très basse (autour de 23 km/h) à la fois en raison des intersections avec les pénétrantes et du fait de caractéristiques routières moins élevées.

Les différents itinéraires ne sont pas affectés de manière homogène par les ralentissements. Ceux-ci ont lieu majoritairement à proximité du plateau sur les axes radiaux. Cependant, les routes ayant des vitesses à vide relativement faibles sont relativement moins affectées par les ralentissements car elles attirent probablement moins de demande routière également.

En analysant les itinéraires et les ralentissements sur une carte, on peut observer que les itinéraires les plus rapides en temps à vide et qui transitent par la N1 et l'A1. (Itinéraires A et C) sont aussi ceux qui sont les plus fortement impactés par les ralentissements.

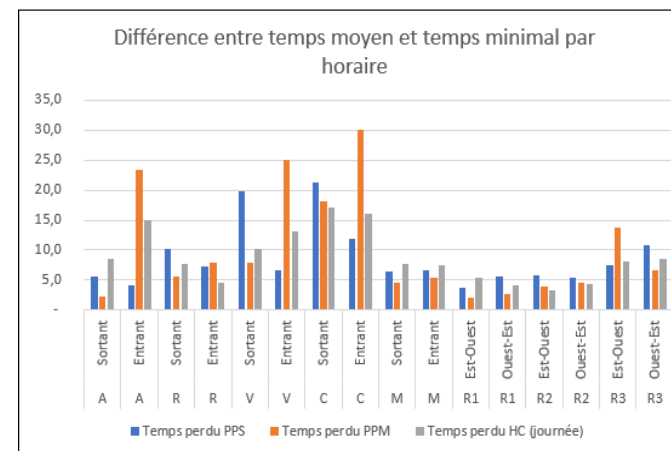


Figure 24 Comparaison des temps moyens et des temps minimaux observés par horaire et par itinéraire.

N°_Iti	Axe	Sens	JOB	PPS			PPM			HC		
			Distance	Temps mini	Temps moyen	Vitesse PPS	Temps mini	Temps moyen	Vitesse PPM	Temps mini	Temps moyen	Vitesse HC
A	A1	Sortant	29,4	34,0	39,6	44,5	30,7	33,0	53,5	33,1	41,5	42,5
A	A1	Entrant	29,7	31,8	36,0	49,6	29,3	52,7	33,8	34,5	49,5	36,1
R	Route de rufisque	Sortant	26,5	60,5	70,7	22,5	57,1	62,6	25,4	72,0	79,7	20,0
R	Route de rufisque	Entrant	26,4	54,7	61,9	25,6	62,2	70,0	22,6	69,0	73,6	21,6
V	VDN	Sortant	32,5	41,8	61,7	31,6	38,7	46,5	41,8	41,0	51,1	38,1
V	VDN	Entrant	32,4	48,9	55,4	35,0	44,0	69,0	28,1	51,6	64,7	30,0
C	N1	Sortant	27,7	43,3	64,6	25,7	38,7	56,8	29,2	49,0	66,0	25,2
C	Corniche	Entrant	28,9	46,5	58,3	29,7	42,6	72,6	23,9	49,3	65,4	26,5
M	Radial milieu	Sortant	29,1	111,2	117,6	14,9	105,2	109,7	15,9	114,8	122,6	14,3
M	Radial milieu	Entrant	29,1	111,1	117,7	14,9	104,2	109,7	15,9	114,8	122,4	14,3
R1	Av. Malick Sy / Av. Felix Eboue	Est-Ouest	3,8	10,2	13,9	16,6	9,8	11,8	19,5	11,5	16,9	13,6
R1	Av. Malick Sy / Av. Felix Eboue	Ouest-Est	3,9	11,2	16,7	13,9	9,7	12,3	18,9	12,0	16,1	14,4
R2	Rocade Fann/Bel air- Bd. Canal VI	Est-Ouest	5,2	13,3	19,1	16,2	13,8	17,8	17,4	16,1	19,4	16,0
R2	Rocade Fann/Bel air- Bd. Canal VI	Ouest-Est	5,1	13,5	19,0	16,2	12,6	17,1	18,1	14,2	18,6	16,6
R3	Rte Front de Terre – Les Voies de l’alternance	Est-Ouest	7,0	22,8	30,3	13,9	19,1	32,8	12,9	20,3	28,3	14,9
R3	Rte Front de Terre – Les Voies de l’alternance	Ouest-Est	7,1	20,3	31,2	13,6	19,1	25,8	16,5	20,6	29,2	14,6

Tableau 9 : Mesures de temps de parcours en Jour de Semaine sur les différents itinéraires (données Google Maps 2022)

4.1.2.2 ÉVOLUTION DU TAUX DE CONGESTION

La comparaison des mesures de temps de parcours issues des données Google Maps entre 2020 et 2022 n'est pas toujours aisée. Elle peut être impactée :

- par des changements d'itinéraires évidents (dans le cas de travaux par exemple) mais aussi moins évidents quand leur effets sur les temps et vitesses ne sont pas aussi flagrants,
- par des modifications des algorithmes utilisés par Google ou encore par l'évolution de l'échantillonnage d'une année sur l'autre.

Il peut être intéressant de s'affranchir des différences entre les deux années de mesure en élaborant un indicateur qui permet de gommer une bonne partie des évolutions qui pourraient risquer de biaiser les analyses.

C'est pourquoi on a calculé pour chaque période et itinéraire le **taux de congestion comme la différence entre le temps moyen en circulation avec le minimum observé toutes périodes confondues (encore dénommé temps à vide) rapporté au temps en circulation**. Cet indicateur correspond donc à la part du temps passé en congestion par rapport au temps de parcours total.

Le tableau page suivante présente les évolutions de ce taux de congestion par itinéraire, sens et période entre 2020 et 2022.

Il montre des taux de congestion moyens de l'ordre de 25 à 30% pour les mesures de 2022 avec des valeurs importantes en heure du midi et qui pour certains itinéraires peuvent même être supérieures à ce qui est observé en heures de pointe. Par rapport à 2020, les évolutions sont importantes et liées en partie aux périodes durant lesquelles ont été faites les mesures. Pour 2020, la période de mesure correspond au début de la période de limitation des déplacements en relation avec l'épidémie de COVID. Seul l'itinéraire M impacté fortement par les travaux du BRT voit son taux de congestion se réduire de manière sensible le soir car les usagers anticipant les problèmes de circulation sont sans doute moins enclins à l'utiliser.

Les données Google Mobility permettent d'objectiver cette évolution de la demande de mobilité entre les deux périodes. Google fournit en effet pour un nombre important de pays et de région des mesures de l'évolution de certains types de lieu par rapport à une situation de situation de référence (cf graphique ci-contre).

La référence correspond à une situation pré-Covid constituée par la valeur de la médiane, pour un jour donné, calculée sur la période de cinq semaines comprise entre le 3 janvier et le 6 février 2020.

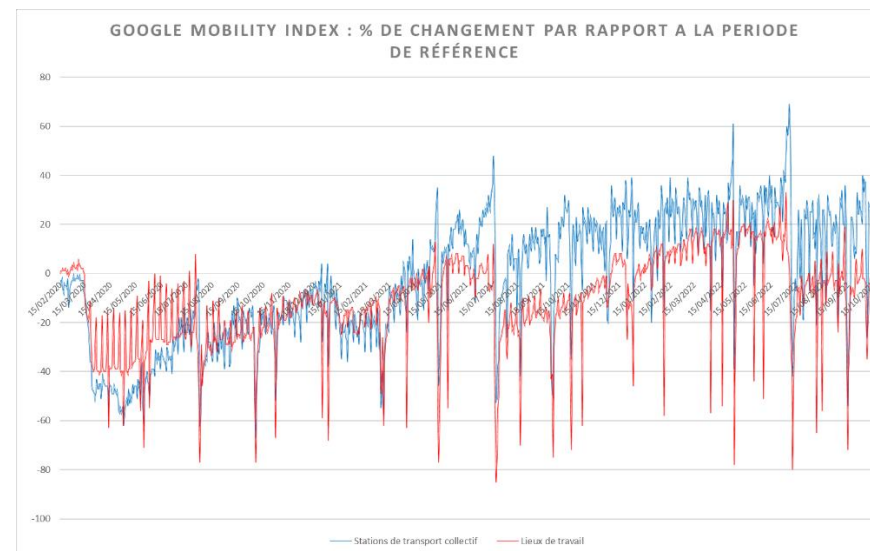


Figure 25 : Évolution de la mobilité à Dakar selon les données Google Mobility (source Google)

La courbe ci-dessus et son exploitation ci-dessous montrent que par rapport à la situation pré-COVID, on est donc revenu à une situation normale en matière de mobilité. En termes de démographie, l'évolution de la population entre fin 2019 et mi-2022 est de l'ordre de +8% sur la base des données du Modèle Multimodal de Dakar. Cette évolution est assez proche de ce que qui peut être observé en termes de fréquentation des lieux de travail (+9.6%) par l'index Google Mobility

Période de mesure	Stations de transport collectif	Lieux de travail
2020	-6,3	-1,2
2022	21,5	9,6
Ecart	27,8	10,8

Tableau 10 : Évolution de l'index Google Mobility entre les périodes de mesure de temps de parcours (données Google Mobility)

Comme estimation de l'évolution de la demande entre les deux périodes de mesure, on propose donc d'utiliser la moyenne des indicateurs de Google Mobility relatif à la fréquentation des lieux de travail et de la fréquentation de stations de transport collectif soit environ 20%. Sur la même période, on a observé une augmentation du taux de congestion de l'ordre de 13 points.

Sens	Origine	Destination	N°_Iti	2022			2020		
				Soir	Matin	Midi	Soir	Matin	Midi
Sortant	Centre	Rufisque	A	23%	7%	26%	23%	6%	23%
Entrant	Rufisque	Centre	A	19%	44%	41%	7%	29%	25%
Sortant	Centre	Rufisque	R	19%	9%	28%	14%	4%	25%
Entrant	Rufisque	Centre	R	12%	22%	26%	3%	14%	26%
Sortant	Centre	Cité Keur	V	37%	17%	24%	13%	1%	7%
Entrant	Cité Keur	Centre	V	21%	36%	32%	3%	16%	11%
Sortant	Centre	Pikine	C	40%	32%	41%	7%	6%	8%
Entrant	Pikine	Centre	C	27%	41%	35%	9%	20%	10%
Sortant	Centre	Thiaroye	M	11%	4%	14%	18%	2%	13%
Entrant	Thiaroye	Centre	M	11%	5%	15%	18%	2%	13%
Est-Ouest	Est	Ouest	R1	30%	17%	42%	21%	6%	27%
Ouest-Est	Ouest	Est	R1	42%	21%	40%	25%	7%	29%
Est-Ouest	Est	Ouest	R2	30%	25%	31%	8%	11%	13%
Ouest-Est	Ouest	Est	R2	34%	26%	32%	14%	30%	27%
Est-Ouest	Est	Ouest	R3	37%	42%	33%	12%	23%	15%
Ouest-Est	Ouest	Est	R3	39%	26%	35%	14%	7%	15%
Moyenne des itinéraires				27%	23%	31%	13%	12%	18%

Tableau 11 : Évolution du taux de congestion par période entre 2020 et 2022

4.2 ESTIMATION DE LA CONGESTION

4.2.1 METHODOLOGIE D'ESTIMATION DE LA CONGESTION

L'estimation de la congestion se base principalement sur l'évaluation des temps perdus en congestion sur l'ensemble des voiries de la ville de Dakar. Mais les données issues des mesures de temps de parcours sur une sélection d'itinéraire ne sont pas suffisantes.

On dispose cependant d'éléments couvrant l'ensemble de l'agglomération de Dakar par le biais du Modèle Multimodal de Dakar du CETUD et en particulier de la partie routière de celui-ci.

Le Modèle Multimodal de Dakar

Fin 2018 et compte tenu de l'enjeu primordial que représente la mobilité dans une capitale en fort développement, le CETUD a souhaité se doter d'un outil de planification des déplacements de voyageurs et de marchandises sur l'agglomération de Dakar et ses environs. Il a donc lancé une consultation qui a abouti au recrutement du groupement setec – CUREM qui a développé cet outil, l'a implanté au CETUD et a formé ses collaborateurs à son utilisation.

Le Modèle Multimodal de Dakar est un modèle de prévision des déplacements de personnes sur l'ensemble de l'agglomération. Il est basé sur une structure classique de modèles à quatre étapes qui sont les suivantes :

- **Génération** : Quels déplacements va effectuer la population dakaroise et pour quel type d'activité,
- **Distribution** : Quelles sont les lieux de l'agglomération dakaroise qui vont être choisis comme destination des déplacements estimés précédemment,
- **Choix Modal** : Quels modes de déplacements pour se rendre dans telle ou telle zone pour tel type d'activité,
- **Affectation** : Quels itinéraires sur le réseau routier ou sur le réseau de transports collectifs vont emprunter les dakarois pour réaliser les déplacements précédemment estimés.

La partie Génération – Distribution est basée sur une structure en boucle de déplacements avec 11 catégories d'individus dont les données détaillées sont issues de l'EMTASUD.

L'étape d'affectation (cf carte page suivante) pour les déplacements réalisés en voiture individuelle, moto ou taxi a été calibrée sur la situation 2019 pour laquelle on disposait de nombreux comptages. Le calage des affectations routières est réalisé en débit (on vérifie que les résultats du modèle reproduisent bien les données de comptages dont on dispose) et en temps de parcours (on vérifie sur une sélection d'itinéraires que le modèle reproduit bien les temps observés). La procédure d'affectation est en effet basée sur une procédure d'affectation à l'équilibre (elle procède par itérations successives jusqu'à obtenir une convergence des résultats) avec contrainte de capacité (les débits sur une portion du réseau sont liés au temps de parcours sur ce même tronçon par une formulation mathématique dite courbe débit-vitesse).

Tableau 12 : Description du Modèle Multimodal de Dakar

La méthodologie mise en œuvre dans la suite pour l'évaluation de la congestion repose sur une démarche en 6 étapes récapitulée dans le tableau ci-dessous :

Méthodologie d'estimation de la congestion

- **Analyse des cartes d'affectation 2019 du Modèle Multimodal** aux trois heures modélisées (HPM / HM / HPS) et calcul du taux de congestion moyen pour chacune de ces heures,
- **Calcul pour chaque heure de la journée d'un taux de congestion** fonction des taux de congestion estimés pour les trois heures modélisées
- **Calcul d'un taux de congestion moyen pour un jour de semaine,**
- **Estimation du temps perdu par déplacement motorisé** sur la base des données de l'EMTASUD et du taux de congestion journalier,
- **Calcul du nombre d'heures perdues par jour** en fonction du nombre de déplacements motorisés journaliers
- **Calcul du nombre d'heure perdues par an** et valorisation

Tableau 13 : Méthodologie d'estimation de la congestion



Figure 26 : Carte d'affectation routière du Modèle Multimodal de Dakar : Heure de Pointe du Matin 2019 – Niveau de saturation

4.2.2 ESTIMATION DE LA CONGESTION AUX HEURES MODELISEES

La carte présentée page précédente présente le résultat de l'affectation pour l'heure de pointe du matin 2019 en termes de débit (épaisseur du trait) et de taux de saturation (en couleur). Le taux de saturation correspond au flux utilisant le tronçon divisé par la capacité théorique de la voie.

L'analyse des résultats d'affectation pour les 3 heures modélisée pour la situation 2019 nous permet d'estimer par heure le taux de congestion, **c'est-à-dire la part du temps perdu en congestion par rapport au temps total de déplacement**. Ce taux est pondéré de tous les flux calculés sur tous les tronçons du réseau. Les résultats obtenus figurent dans le tableau ci-dessous.

Heure modélisée		Taux de congestion
HPM	7h-8h	37%
HM	12h-13h	36%
HPS	17h -18h	40%

Tableau 14 : Taux de congestion par heure modélisée – 2019
source Modèle Multimodal de Dakar

La carte page suivante présente les taux de congestion par tronçon calculés à l'heure de pointe du matin ainsi que le volume des flux de véhicules légers. Dans son ensemble, cette carte est relativement similaire à celle de la page précédente représentant les taux de saturation et les volumes de trafic. Elle appelle cependant les commentaires suivants :

- A l'heure de pointe du matin, la congestion est bien sur orientée vers Dakar et le plateau ; c'est en arrivant dans la zone dense que la congestion se développe de manière très importante : au débouché de l'autoroute mais également au bout de la Corniche ou encore sur la VDN. Sur ces sections, la congestion apparaît plus marquée que le taux de saturation.
- Même si cela est difficile à visualiser sur une carte de de type, les intersections sont responsables d'une part importante de la congestion.
- Enfin le réseau urbain perpendiculaire aux grandes pénétrantes est également très congestionné. On retrouve ici ce qui avait été observé sur les itinéraires transversaux durant les recueils de temps de parcours.

Dans le tableau ci-dessous, on a agrégé les résultats de l'affectation à l'heure de pointe du matin par type de réseau : répartition des temps perdus, taux de congestion moyen. On a également fait figurer la part des longueurs de chaque type de réseau.

		Longueur	Temps perdu	Taux de congestion
Groupe A	Autoroute payant	23%	23%	36%
	Route nationale, voie rapide et routes latérales			
Groupe B	Routes principales et grands boulevards	13%	25%	36%
	Routes secondaires et autres boulevards			
Groupe C	Routes tertiaires et rues principales	27%	22%	28%
Groupe D	Rues secondaires	37%	30%	38%
Ensemble du réseau		100%	100%	37%

Tableau 15 : Temps perdus et taux de congestion par type de réseau à l'heure de pointe du matin 2019
source Modèle Multimodal de Dakar

Le résultat le plus marquant correspond aux tronçons du groupe B (réseau principal et réseau secondaire hors autoroute et voies rapides – la VDN est classée A). La part des temps perdus atteint 25% du total alors que la longueur cumulée de ces types de tronçon ne représente que 13%. Ceci est probablement dû à des niveaux de trafics importants sur des portions très congestionnées ainsi qu'à des courbes débit vitesse qui se congestionnent plus rapidement que celles de la catégorie A. Dans la pratique, la circulation sur les boulevards urbains à Dakar peut être rapidement impactée par du stationnement non autorisé et bien sur les intersections plus nombreuses que sur le réseau de type A. Ceci montre l'importance d'une bonne gestion des intersections et la nécessité d'un renforcement du contrôle des pratiques de circulation, stationnement et usage de la voirie.

L'étape suivante consiste à étendre les taux de congestion des trois heures modélisées aux autres heures de la journée non modélisées dans le Modèle Multimodal de Dakar.

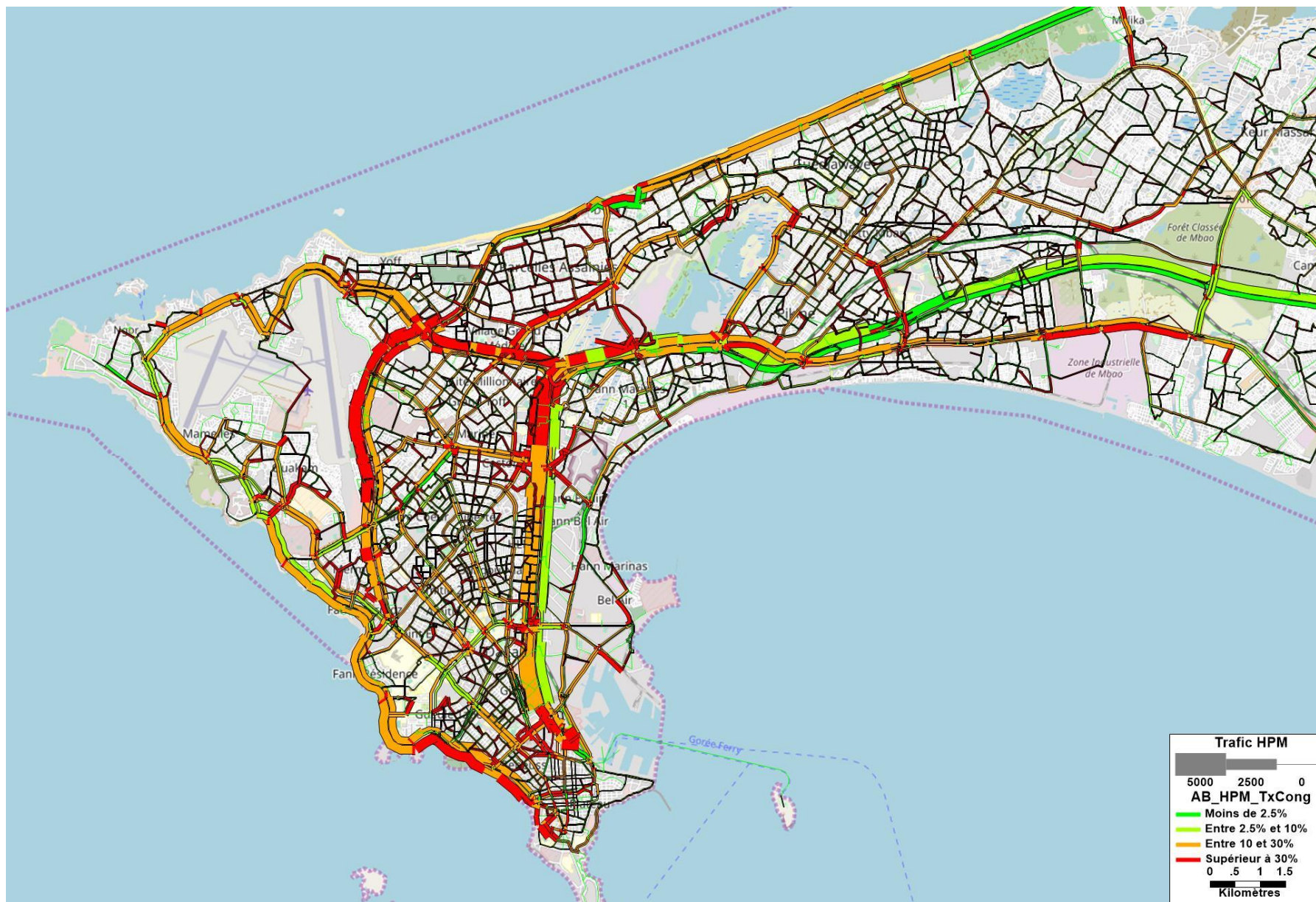


Figure 27 : Carte d'affectation routière du Modèle Multimodal de Dakar : Heure de Pointe du Matin 2019 – Taux de congestion

4.2.3 EXTENSION DES TAUX DE CONGESTION AUX AUTRES HEURES NON MODELISEES

L'extension des taux de congestion aux autres heures non modélisées est effectuée sur la base :

- Des données de profil horaire pour les usagers des transports individuels motorisés issus de l'EMTASUD : compte tenu du fait que certains déplacements peuvent être effectués sur deux périodes horaires, on établit un profil lissé par moyenne mobile qui permet de mieux tenir compte de la diffusion des flux dans le réseau.
- Par grande période horaire (période de pointe du matin, période du midi et période de pointe du soir), on estime par heure non modélisée un taux de congestion en fonction du taux de congestion et de la demande de l'heure modélisée représentative de la période et de la demande de l'heure pour laquelle on cherche à estimer le taux de congestion. On utilise pour cela une formule débit vitesse de type BPR¹¹ d'élasticité 2. Cette valeur standard permet aussi de retrouver l'évolution des taux de congestion observée entre 2020 et 2022 lors du recueil de données.

Pour l'ensemble de la journée, le taux de congestion moyen pour un jour de semaine de 2019 est donc estimé à 26,7% : **26,7% du temps de déplacement correspond à du temps perdu en congestion.**

Heure	Demande brute	Demande lissée	Taux de congestion
1	0,4%	0,4%	0%
2	0,4%	0,4%	0%
3	0,5%	0,4%	0%
4	0,3%	0,4%	0%
5	0,5%	2,0%	2%
6	3,5%	7,3%	28%
7	11,0%	8,4%	37%
8	5,8%	6,1%	19%
9	6,4%	6,4%	27%
10	6,5%	5,8%	35%
11	5,1%	5,6%	32%
12	6,1%	5,9%	36%
13	5,7%	5,1%	27%
14	4,5%	4,7%	23%
15	4,9%	5,6%	33%
16	6,3%	8,2%	34%
17	10,0%	8,9%	40%
18	7,7%	6,5%	22%
19	5,3%	4,6%	11%
20	3,9%	3,3%	5%
21	2,6%	2,2%	0%
22	1,8%	1,5%	0%
23	1,3%	0,6%	0%
Taux de congestion moyen			26,7%

Tableau 16 : Extension du taux de congestion aux heures non modélisées par le Modèle Multimodal de Dakar – 2019 (source : estimation setec)

¹¹ BPR : Bureau of Public Road $T = T_0 \times (1 + \alpha \times (V/C))^{\text{Beta}}$

4.2.4 NOMBRE D'HEURES PERDUES EN CONGESTION

Pour estimer le nombre d'heures perdues en congestion, on utilise l'EMTASUD qui donne une estimation de la durée moyenne de déplacement (cf. tableau ci-dessous).

	Durée moyenne de déplacement (mn)		Coût moyen de déplacement (FCFA)	
	Semaine	Samedi	Semaine	Samedi
A pied	11	11	0	0
Car rapide	28	34	85	96
Clando	22	24	175	176
Ndiaga Ndiaye	48	52	150	178
Dakar Dem Dikk	46	48	144	158
AFTU	41	46	172	197
Taxi	30	30	1 228	1 361
Moto	21	18	60	0
Voiture	30	30	18	17
Intermodal	61	63	382	368
Autres	28	31	79	117
Ensemble	18	20	72	93

Source : SITRASS-CUREM, données EMTASUD 2015, pour le compte du CETUD, déc. 2015

Tableau 17 : Durée unitaire moyenne et coût unitaire moyen des déplacements par mode (source : EMTASUD 2015)

Pour les usagers de la voiture ou du taxi, le temps moyen de déplacement fourni par l'EMTASUD est de l'ordre de 30 minutes. Avec les temps d'attente et temps de rabattement, il est généralement plus long pour les usagers des transports collectifs.

Le tableau ci-dessous présente une décomposition de ce temps de parcours des usagers de la voiture en temps d'accès : stationnement, temps de circulation en congestion et temps de circulation hors congestion.

	Temps de déplacement moyen en voiture (minutes)				
	Taux de congestion	Accès / stationnement	Temps en Congestion	Temps hors congestion	Temps total
31					
2015	19%	5,0	4,7	20,3	30,0
2019	27%	5,0	7,4	20,3	32,7
2021	34%	5,0	10,3	20,3	35,6

Tableau 18 : Décomposition du temps de déplacement en voiture (source : EMTASUD 2015 et estimations setec)

Pour effectuer le calcul, on a fait l'hypothèse que le temps d'accès / stationnement était de l'ordre de 5 minutes. Les taux de congestions ont été estimés pour les années 2015 et 2021 sur la base de l'évolution des déplacements motorisés de l'agglomération issus du Modèle Multimodal (cf tableau ci-dessous) et de la même courbe BPR que précédemment. Le temps hors congestion est calculé pour l'année 2015 et considéré constant pour les années 2019 et 2021. Le temps en congestion évolue ensuite en fonction du taux de congestion.

	2015	2019	2021	2022
VP	265 058	358 014	406 657	433 403
Moto	51 814	73 621	87 356	95 157
Taxi	198 608	243 504	273 275	289 499
Clando	210 754	254 245	287 704	306 050
TC	1 338 450	1 552 992	1 712 233	1 797 876
Total	2 064 684	2 482 376	2 767 225	2 921 985

Tableau 19 : Déplacements motorisés journaliers (source Modèle Multimodal de Dakar)

Il en résulte que l'on estime pour les usagers de la voiture que le temps perdu en congestion par déplacement est passé de 4,7 minutes en 2015 à **10,3** minutes en 2021 dans une situation hors COVID.

Dans la suite, on fait l'hypothèse que ce temps perdu (10,3 minutes par déplacement) est le même pour tous les déplacements motorisés qui subissent aujourd'hui la même congestion routière (ce sera différent pour les usagers du TER et du BRT qui disposent d'infrastructures dédiées). C'est sans doute un peu pessimiste pour les usagers de la moto qui ne représentent qu'une faible part des déplacements motorisés mais assez juste pour tous les autres modes.

L'appréciation du temps perdu en congestion est éminemment subjective : des usagers se déplaçant principalement en période de pointe auront l'impression que ce temps perdu est bien plus important. On rappellera ici que les 10,3 minutes estimées correspondent à une moyenne tous déplacements motorisés et toutes heures de la journée confondues.

Sur la base des profils horaires utilisés, le temps moyen perdu en pointe est globalement supérieur d'environ 10% au temps moyen perdu sur la journée et de 50% au temps perdu en situation hors pointe. La part des temps perdus en pointe représente plus de 80% des temps perdus dans la journée.

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'heures perdues en congestion sur l'ensemble de l'agglomération de Dakar en 2021 dans une situation hors COVID.

Le nombre d'heures perdues un jour de semaine est directement obtenu en multipliant les 10,3 minutes perdues par déplacement motorisé par le nombre de déplacements motorisés (2,7 millions de déplacements quotidiens estimés sur la base des éléments issus du Modèle Multimodal).

Le samedi, le nombre de déplacements est quasiment identique à celui d'un jour de semaine mais avec une pointe du matin moins prononcée. On fait l'hypothèse que le nombre d'heures perdues est inférieur de 30% à celui d'un jour de semaine. Pour le dimanche, on conserve 10% des heures perdues d'un jour de semaine. A cette congestion récurrente, il est d'usage d'ajouter des phénomènes de congestion non-récurrentes liés à des incidents, journées particulières ou encore aux intempéries. En l'absence de données spécifiques, on ajoute 10% de la congestion récurrente.

	Heures perdues par jour	Nombre de jours dans l'année	Heures perdues annuellement (en millions)
Jour de semaine	472 742	260	122,9
Samedi	330 920	52	17,2
Dimanche	47 274	52	2,5
Total congestion récurrente			142,6
Congestion non récurrente (incidents, intempéries...) : 10%			14,3
Total			156,8

Tableau 20 : Heures perdues en congestion – situation 2021 hors COVID
(source : estimations setec)

Au total, ce sont donc près de **156 millions d'heures** qui sont perdues annuellement par les dakarois du fait de la congestion routière.

4.2.5 VALORISATION DE LA CONGESTION

En multipliant le nombre d'heures perdues estimé ci-dessus par la valeur du temps calculé au § 3.3.3, on obtient une perte pour la collectivité liée à la congestion de **131 Mds de FCFA** pour l'année 2021 dans une situation hors COVID.

Cette estimation est prudente car elle ne prend pas en compte le transport de marchandises et n'intègre pas les effets directs de l'accessibilité sur la productivité des entreprises. Ces effets en particulier ceux relatifs aux impacts sur la productivité pourraient être très importants mais sont impossibles à estimer sans des investigations qui dépassent le cadre de la présente étude.

Il est cependant possible de donner une estimation simplifiée d'une autre conséquence de la congestion routière : le coût relatif au carburant perdu en période de congestion. Sur la base des consommations annuelles de véhicules à moteur à Dakar (cf. §7.2.3) et en faisant l'hypothèse simplificatrice que la consommation passée en congestion est analogue à la consommation moyenne, on estime également à environ 104 Mds de FCFA le coût pour les dakarois de cette dépense supplémentaire de carburant.

Au total, la valorisation des nuisances liées à la congestion routière est estimée à **235 Mds de FCFA** pour l'année 2021 hors COVID.

5 EXTERNALITÉS LIÉES AU BRUIT

5.1 ANALYSE DES MESURES DE BRUIT

5.1.1 METHODOLOGIE

Le bruit est dû à une variation de la pression régnant dans l'atmosphère. L'onde sonore faisant vibrer le tympan résulte du déplacement d'une particule d'air par rapport à sa position d'équilibre.

Cette mise en mouvement se répercute progressivement sur les particules voisines tout en s'éloignant de la source de bruit. Dans l'air la vitesse de propagation est de l'ordre de 340 m/s.

On caractérise un bruit par son niveau exprimé en décibel (dB(A)) et par sa fréquence.

La gêne vis-à-vis du bruit est un phénomène subjectif, donc forcément complexe. Une même source de bruit peut engendrer des réactions assez différentes suivant les individus, les situations, les lieux ou la période de l'année. Différents types de bruit (continu, intermittent, impulsionnel, à tonalité marquée) peuvent également occasionner une gêne à des niveaux de puissance très différents.

D'autres paramètres n'ayant rien à voir avec la problématique acoustique entrent également en ligne de compte : importance relative de la source de bruit dans la vie des riverains, rôle dans l'intérêt économique de chacun, opinion personnelle quant à l'intérêt de sa présence.

Le phénomène de gêne est donc très complexe et parfois très difficile à mettre en évidence. On admet généralement qu'il y a gêne, lorsque le bruit perturbe la vie d'individus (période de sommeil / conversation / période de repos ou de travail).

En matière de bruit d'infrastructures, on considère les deux périodes réglementaires, jour (6h-22h) et nuit (22h-6h) : on parle des niveaux de bruit LAeq (6h-22h) et LAeq (22h-6h).

Le bruit s'exprime en décibel suivant une arithmétique logarithmique. On parle alors de niveau de pression acoustique s'étendant de 0 dB(A) (seuil d'audition) à 130 dB(A) (seuil de la douleur et au-delà).

Le doublement de l'intensité sonore se traduit dès lors par une augmentation de 3 dB(A) :

$$50 \text{ dB(A)} + 50 \text{ dB(A)} = 53 \text{ dB(A)}$$

De la même manière, la somme de 10 sources de bruit de même intensité se traduit par une augmentation du niveau sonore de 10 dB(A) :

$$10 \times 50 \text{ dB(A)} = 60 \text{ dB(A)}$$

Le niveau acoustique fractile, $LA_{N,t}$. Par analyse statistique de LAeq courts, on peut déterminer le niveau de pression acoustique pondéré A qui est dépassé pendant N % de l'intervalle de temps considéré, dénommé « niveau acoustique fractile ». Son symbole est $LA_{N,t}$: par exemple, $LA_{90,1s}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A dépassé pendant 90 % de l'intervalle de mesurage, avec une durée d'intégration égale à 1s.

La réduction du bruit dans l'environnement porte sur la conception de source de bruit moins gênante (véhicule moins bruyant mais toujours plus nombreux, amélioration des revêtements de chaussée pour les routes, mise en place de rails soudés pour les voies ferrées, mise en place de silencieux sur les moteurs), la mise en place de barrières acoustiques (écrans acoustiques, merlon de terre, couverture totale ou partielle) et enfin isolation acoustique des façades des bâtiments (ce dernier recours consiste à assurer un isolement important à un logement en mettant en place des menuiseries performantes au niveau acoustique).

Source de bruit	dB(A)	Sensation	Conversation
Décollage d'un avion à réaction	130	Dépassement du seuil de douleur	Impossible
Marteau piqueur à 1 m	110	Supportable un court instant	En criant
Moto à 2 m	90	Bruits très pénibles	Difficile
Boulevard périphérique de Paris	80	Très bruyant	En parlant fort
Habitation proche d'une autoroute	70	Bruyant	A voix normale
Niveau de bruit derrière un écran	60	Supportable	A voix normale
Bruit ambiant en ville de jour	50	Calme, bruit de fond d'origine mécanique	A voix normale
Bruit ambiant à la campagne de jour	40	Ambiance calme	A voix normale
Campagne la nuit sans vent / chambre calme	30	Ambiance très calme	A voix basse
Montagne enneigée / studio enregistrement	15	Silence	A voix basse

Tableau 21 : Échelle des bruits

5.1.2 LES OUTILS D'INVESTIGATION

Les mesures acoustiques sont réalisées suivant les principes des normes NF S 31-085 « caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier en vue de sa caractérisation » et NF S 31-010 « caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement ».

On installe à 2 mètres en avant de la façade d'une maison, à une hauteur variable (rez-de-chaussée ou étage), un microphone qui va enregistrer toutes les secondes le niveau de bruit ambiant. La durée de la mesure peut varier d'un cycle complet de 24 heures à un enregistrement de 20 minutes. L'appareillage de mesures utilisé (microphones, sonomètres) est certifié conforme aux classes de précision relatives aux types d'enregistrement réalisés.

L'analyse et le traitement des données ainsi recueillies nous permettent de caractériser l'ambiance acoustique actuelle d'un site à partir des niveaux de bruit définis réglementairement, à savoir les indices diurne (LAeq 6h-22h) et nocturne (LAeq 22h-6h).

5.1.3 LE CONTEXTE NORMATIF

Les normes de mesurage utilisées sont les suivantes :

- La norme NF S 31-010 de décembre 1996 « caractérisation et mesurage du bruit dans l'environnement - Méthodes particulières de mesurage » amendée par la version NF S 31-010/A1 pour ce qui concerne la prise en compte des données météorologiques ;
- La norme NF S 31-110 de novembre 2005 « caractérisation et mesurage des bruits dans l'environnement – Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation » ;
- La norme NF S 31-085 de novembre 2002 « caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier » ;

Nota : les normes utilisées sont françaises en l'absence de données de référence au Sénégal.

5.1.4 LES CRITERES ACOUSTIQUES

Pour une étude acoustique relative à un projet d'infrastructure, il est nécessaire de définir l'ambiance sonore préexistante sur la zone d'étude, puis d'étudier l'impact acoustique du projet suivant sa nature (création de voie nouvelle et/ou transformation de voie routière existante). Les seuils et objectifs acoustiques à prendre en compte dans le cadre de ces analyses sont précisés dans l'arrêté du 5 mai 1995 et la circulaire du 12 décembre 1997. Ils sont résumés ci-après :

Type de zone	Bruit ambiant existant avant travaux toutes sources confondues en dB(A)	
	LAeq 6h-22h	LAeq 22h-6h
Modérée	< 65.0	< 60.0
Modérée de nuit	≥ 65.0	< 60.0
Non modérée	< 65.0	≥ 60.0
	≥ 65.0	≥ 60.0

Tableau 22 : Seuils et objectifs acoustiques (arrêté du 5 mai 1995 et la circulaire du 12 décembre 1997, France)

5.2 ORGANISATION

5.2.1 DEROULEMENT GENERAL

Mesures acoustiques

La campagne de mesure acoustique s'est déroulée du 10/05/2022 au 11/05/2022.

Au total, 10 mesures caractéristiques de longue durée (24h) ont été réparties sur la zone d'étude.

Les mesures ont été effectuées avec un appareillage de classe 1 conforme à la norme NFS 31-009 relative aux sonomètres de précision.

Pour chacun des relevés, le microphone a été placé à l'extérieur conformément aux normes NFS 31-010 et NFS 31-085.

La carte de la page suivante synthétise l'ensemble des résultats des mesures acoustiques réalisées.

Conditions de trafics

La campagne de mesures a été réalisée en semaine de travail et hors vacances scolaires. Des comptages ont été réalisés manuellement et simultanément aux mesures acoustiques afin d'apprécier le trafic correspondant (routier). Le détail des données relevées est consultable sur chaque point de mesure acoustique réalisée (TV/h et %PL).

Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques n'ont pas eu d'incidences sur les niveaux de bruits mesurés (temps dégagé, surface sèche et vent faible).

5.2.2 MOYENS MIS EN ŒUVRE

Les mesures ont été effectuées avec un appareillage de classe 1 conforme à la norme NFS 31-009 relative aux sonomètres de précision.

- Sonomètres : 10 Sonomètres Svantek de classe 1 de type Svan971 (mesures PF01 à PF10).
- Calibreur : Calibreur de classe 1 de chez Cirrus.
- Logiciel de traitement : dBTrait de 01dB et Svan PC++ de Svantek.

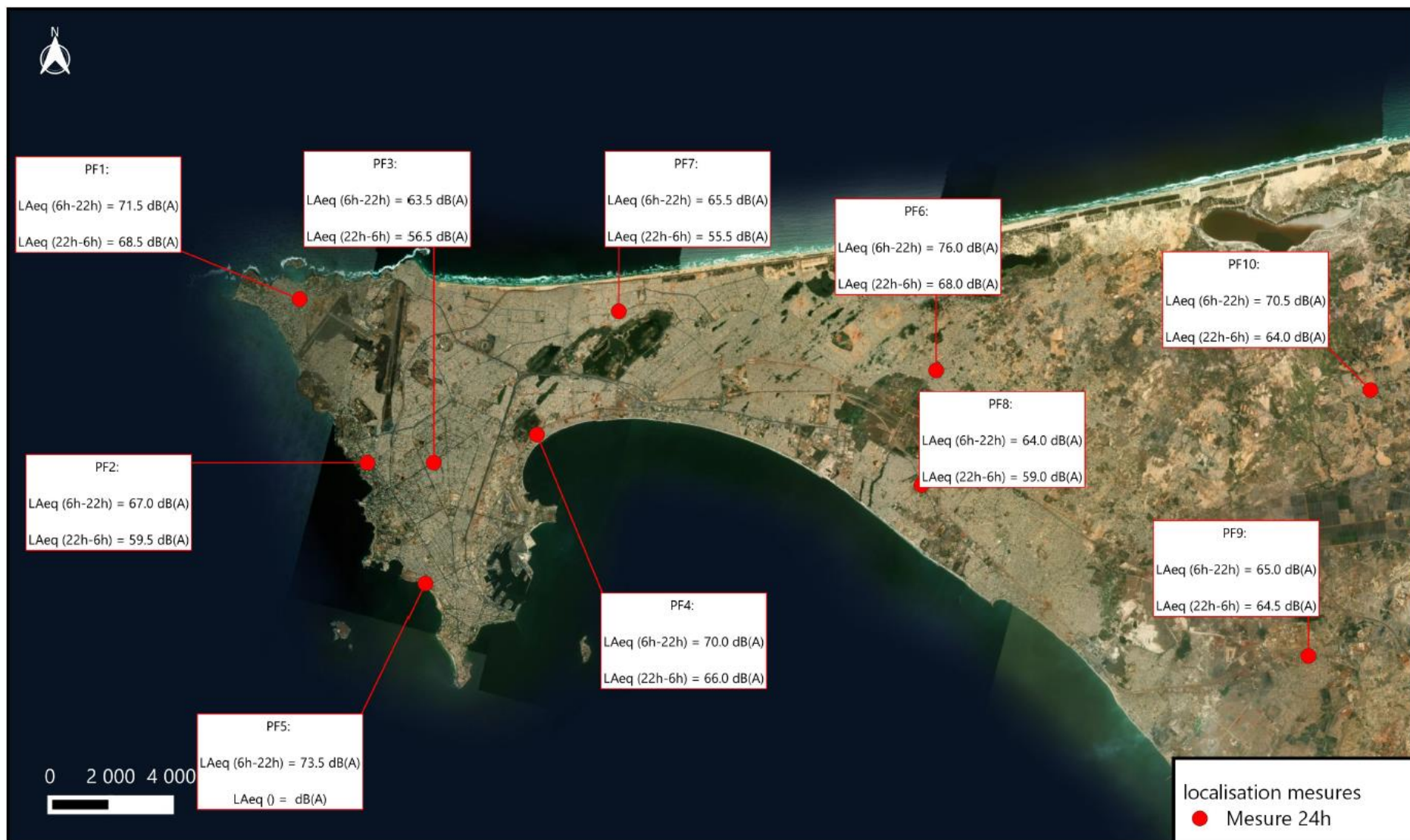


Figure 28 : Localisation et résultats des mesures acoustiques

5.3 RESULTATS DES MESURES

Les niveaux de bruits mesurés témoignent une ambiance sonore :

- Non modérée pour les points de mesures PF2, PF4, PF5, PF6, PF9 et PF10,
- Modérée de nuit pour les points de mesures PF2 et PF7,
- Modérée pour les points de mesures PF3 et PF8.

Les conditions météorologiques n'ont pas eu d'incidence sur les niveaux de bruit mesurés

Numéro du point de mesure	Date	Localisation	LAeq (6h-22h) mesuré en dB(A)*	LAeq (22h-6h) mesuré en dB(A)*	Ambiance sonore
PF1	10/05/2022-11/05/2022	Stade de Ngor DAKAR	71.5	68.5	Non modérée
PF2	10/05/2022-11/05/2022	ENEA DAKAR	67.0	59.5	Modérée de nuit
PF3	10/05/2022-11/05/2022	Mairie du Grand DAKAR	63.5	56.5	Modérée
PF4	10/05/2022-11/05/2022	Centre de santé de HANN	70.0	66.0	Non modérée
PF5	10/05/2022-11/05/2022	Maison de la presse DAKAR	73.5	-	Non modérée
PF6	10/05/2022-11/05/2022	Eglise Saint François d'assise KEUR MASSAR	76.0	68.0	Non modérée
PF7	10/05/2022-11/05/2022	Supeco Golf DAKAR	65.5	55.5	Modérée de nuit
PF8	10/05/2022-11/05/2022	Mairie grand MBAO	64.0	59.0	Modérée
PF9	10/05/2022-11/05/2022	Mairie de DIAMNIADO	65.0	64.5	Non modérée
PF10	10/05/2022-11/05/2022	Mairie de BAMBILOR	70.5	64.0	Non modérée

(*) : Les résultats obtenus sont arrondis au ½ dB(A) près

Tableau 23 : Synthèse des résultats des mesures acoustiques

De manière générale, les niveaux sonores mesurés sont donc assez importants puisqu'ils sont non modérés sur 6 points sur 10 et modérés de nuit pour deux autres points.

Mais pour avoir une idée des nuisances sonores sur l'ensemble de l'agglomération et des populations impactées, il est nécessaire de mettre en œuvre un outil de modélisation acoustiques dont les résultats seront couplés avec la localisation des populations.

5.4 EXTENSION DES MESURES DE BRUIT A L'ENSEMBLE DE L'AGGLOMERATION

5.4.1 METHODOLOGIE

Pour évaluer l'incidence acoustique du trafic actuel sur le réseau routier à l'échelle de l'agglomération de Dakar, une approche par un calcul simplifié du bruit en ayant recours à une modélisation acoustique a été retenue.

Le logiciel utilisé pour la modélisation du niveau de bruit dû à la circulation sur les différents axes routiers est « CadnaA 2022 MR1 ». Ce logiciel permet de calculer le niveau de bruit généré par la circulation ainsi que sa propagation dans l'environnement. Il est ici paramétré pour appliquer la norme de calcul « NMPB-08 route » prenant en compte notamment le nombre de véhicules circulant en moyenne par heure, la part de poids lourd du flux de circulation ainsi que leurs vitesses de circulation respectives. Ces éléments descriptifs du trafic routier sont issus des données d'affectations routières du Modèle Multimodal de Dakar du CETUD pour la situation de calage 2019.

La méthode appliquée dans le cas présent consiste à réaliser un calcul de courbes isophones en champ libre (c'est-à-dire sans prendre en compte les bâtiments) à partir des données de trafic disponibles (matrice de trafic en situation actuelle). L'objectif est ensuite d'identifier les différents bâtiments présents dans ces isophones et d'évaluer leur exposition au bruit par plage de dB(A).

Les données de trafic reçues (TMJA) ont été réparties sur les périodes réglementaires, à savoir (6h-18h), (18h-22h) et (22h-6h), en suivant les coefficients de répartition proposés par la note Setra EEC 77 afin d'être en mesure de calculer l'indicateur Lden qui établit un niveau « global » en moyennant énergétiquement parlant, le résultat des trois périodes en appliquant un malus de +5dB(A) et +10dB(A) aux périodes respectives (18h-22h) et (22h-6h).

Les coefficients de la note Setra retenus correspondent aux lignes n°2 des deux tableaux ci-dessous pour les autoroutes, et aux lignes n°4 des deux tableaux ci-après pour toutes les autres voies.

		Débit moyen horaire de VL sur la période considérée			
		6h-22h	6h-18h	18h-22h	22h-6h
Autoroutes de liaison	Fonction longue distance	TMJA VL / 18	TMJA VL / 17	TMJA VL / 19	TMJA VL / 82
	Fonction régionale	TMJA VL / 17	TMJA VL / 17	TMJA VL / 18	TMJA VL / 100
Routes interurbaines	Fonction longue distance	TMJA VL / 17	TMJA VL / 17	TMJA VL / 19	TMJA VL / 110
	Fonction régionale	TMJA VL / 17	TMJA VL / 17	TMJA VL / 19	TMJA VL / 120

Tableau 2 : Formules d'estimation des débits moyens horaires pour les VL

		Débit moyen horaire de PL sur la période considérée			
		6h-22h	6h-18h	18h-22h	22h-6h
Autoroutes de liaison	Fonction longue distance	TMJA PL / 20	TMJA PL / 20	TMJA PL / 20	TMJA PL / 39
	Fonction régionale	TMJA PL / 19	TMJA PL / 17	TMJA PL / 28	TMJA PL / 50
Routes interurbaines	Fonction longue distance	TMJA PL / 19	TMJA PL / 17	TMJA PL / 27	TMJA PL / 51
	Fonction régionale	TMJA PL / 18	TMJA PL / 16	TMJA PL / 34	TMJA PL / 73

Tableau 3 : formules d'estimation des débits moyens horaires pour les PL

Tableau 24 : Coefficients Setra pour utilisation du modèle CadnaA

Les mesures de bruit réalisées sur site ont par ailleurs permis de calibrer le modèle et de déterminer les paramètres globaux (absorption du sol, qualité de la chaussée). Globalement l'écart mesure/calcul est $< \pm 2$ dB(A) sur 6 / 10 points, au regard de la méthodologie retenue (calcul simplifié sous CadnaA) on considère que le calibrage est validé.

Mesure	Laeq jour mesuré dB(A) (1)	Laeq jour calculé dB(A) (2)	Ecart (2)-(1)
PF1	71.5	72	+0.5
PF2	67.0	66	-1
PF3	63.5	67	+3.5
PF4	70.0	70	0
PF5	73.5	72	-1
PF6	76.0	73	-3
PF7	65.5	67	+1.5
PF8	64.0	66	+2
PF9	69.0	65	-4
PF10	70.5	66	-4.5

Tableau 25 : Vérification du calage du modèle sur les sites de mesure

Les écarts plus élevés peuvent s'expliquer par 2 facteurs :

- La modélisation en champ libre ne prend pas en compte les effets de réflexions sur les parois des bâtiments,
- Les isophones sont tracées pour une hauteur constante de 4m au-dessus du sol alors que les différents points de mesures ne sont pas tous situés à la même hauteur.

5.4.2 RESULTATS

Les résultats des calculs effectués par CadnaA sont fournis sous forme de courbe isophone Lden.

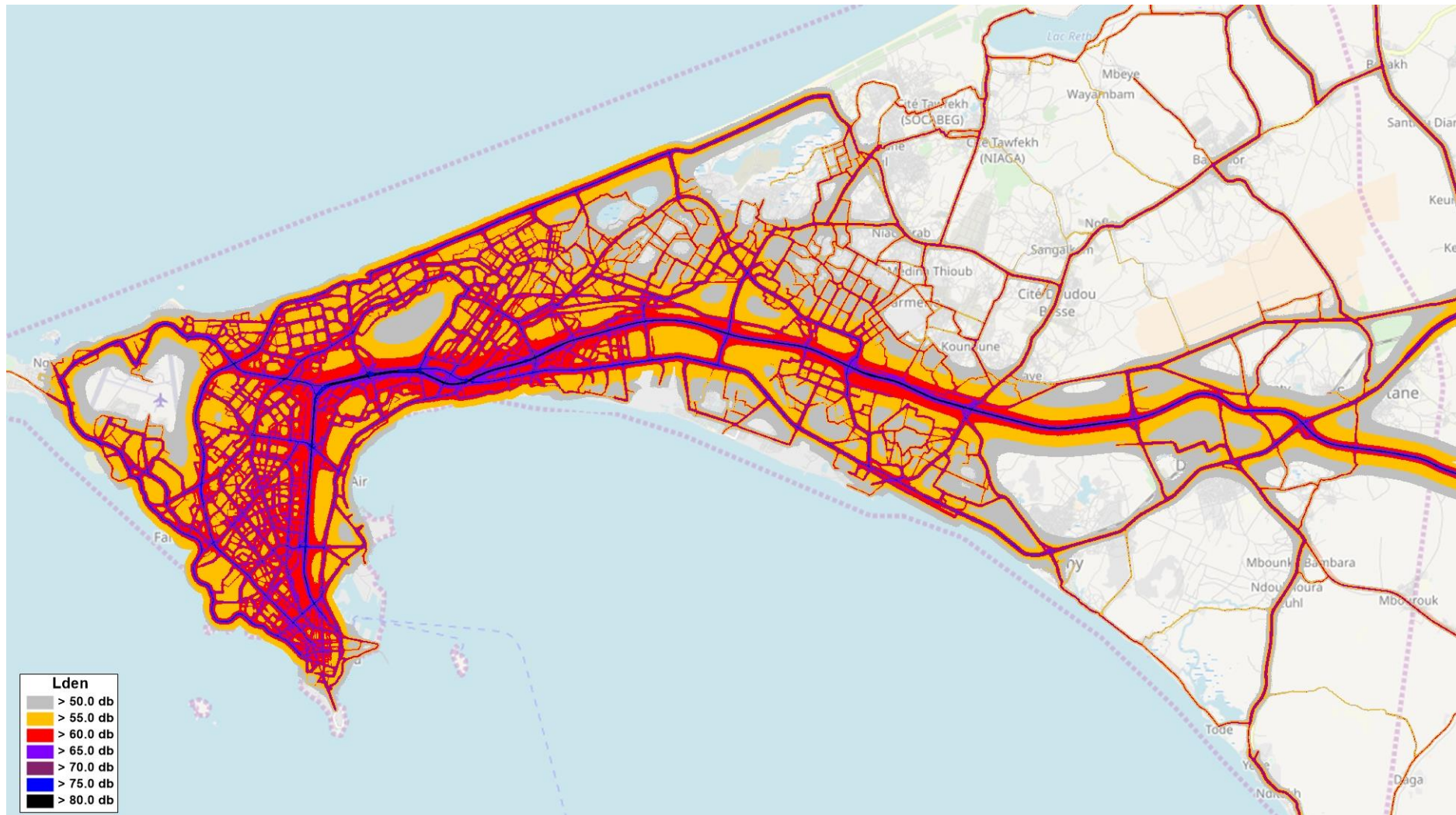


Figure 29 : Niveaux sonores extérieur (Lden) liés aux circulations routières reconstitués par CadnaA dans l'ensemble de la ville de Dakar

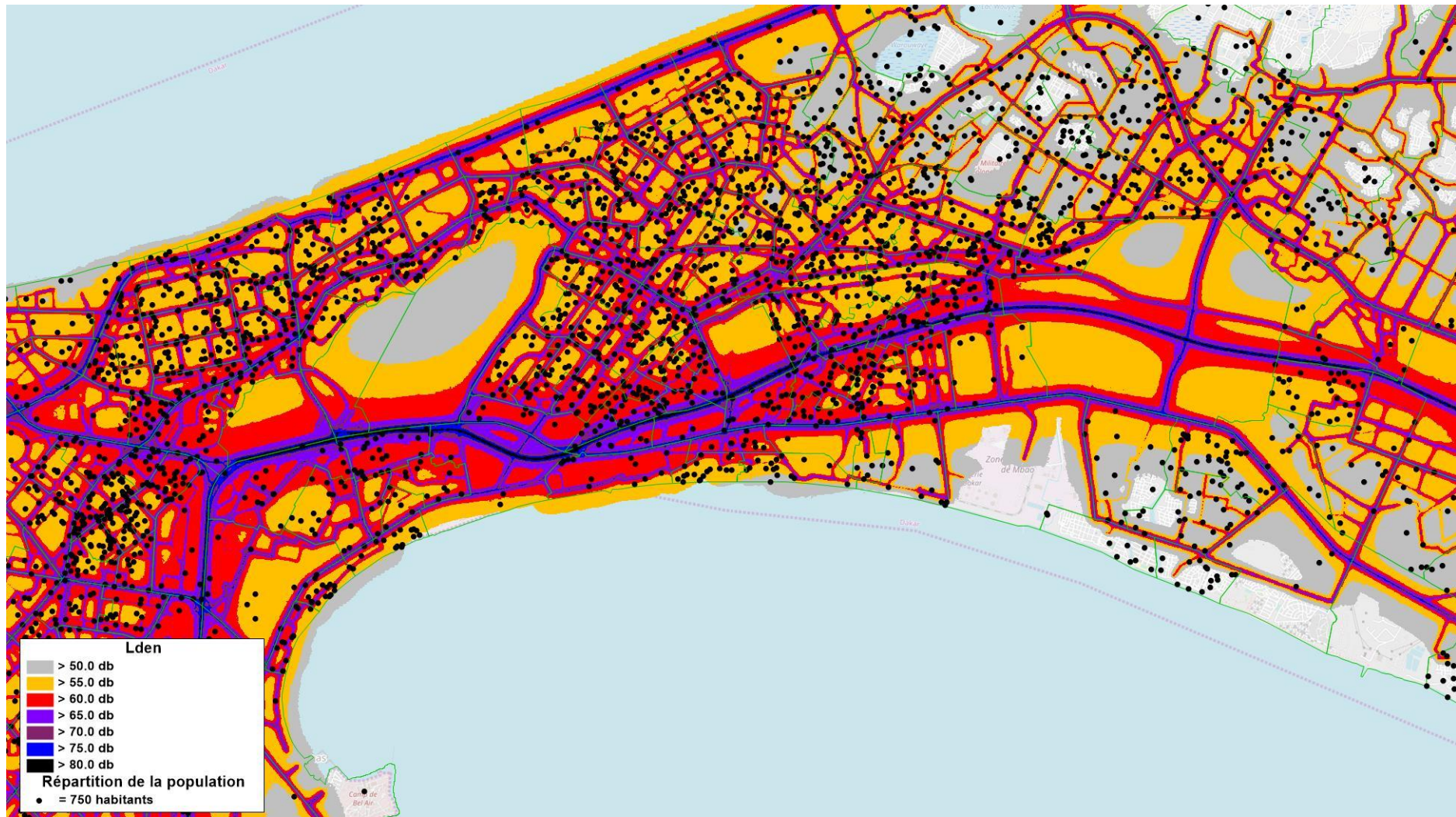


Figure 30 : Superposition de la répartition de la population dakaroise et des niveaux sonores extérieur (Lden) liés aux circulations routières sur la base du zonage du Modèle Multimodal de Dakar

Comme on peut le voir sur la carte précédente, on observe des niveaux sonores importants tout au long du réseau routier principal de l'agglomération. Grâce aux isophones fournies par CadnaA sous forme de couche SIG, il est ensuite possible d'estimer comment les lieux de résidence des dakarois sont exposés à ces niveaux de bruit. Différentes méthodes de calcul sont alors possibles : en faisant l'intersection entre le zonage du modèle multimodal qui contient des données démographiques sur près de 300 zones et les isophones ou en comptant les bâtiments de chaque zone à l'intérieur des isophones. Si la méthode utilisant le bâti peut sembler plus séduisante car plus précise, la donnée utilisée n'est pas forcément exhaustive et certaines informations pas nécessairement disponibles (taille des bâtiments notamment).

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus avec les deux méthodes qui sont assez homogènes même si la méthode d'intersection a tendance à placer une plus grande partie de la population dakaroise dans des zones où le niveau sonore extérieur lié à la circulation routière est le plus élevé.

Lden	Décompte du bâti	Intersection zonage
< 55 db	17,7%	16,2%
compris entre 55 db et 60 db	41,6%	37,5%
compris entre 60 db et 65 db	30,5%	26,9%
compris entre 65 db et 70 db	9,3%	13,0%
compris entre 70 db et 75 db	0,8%	5,0%
compris entre 75 db et 80 db	0,0%	1,2%
> 80 db	0,0%	0,2%

Tableau 26 : Répartition de la population dakaroise en fonction du niveau de bruit Lden de leur lieu de résidence

On constate donc qu'environ 40 à 45% de la population dakaroise réside dans des zones où la valeur Lden du bruit routier extérieur est supérieur à 60 db, valeur à partir de laquelle une gêne liée au bruit existe.

5.5 VALORISATION DES NUISANCES SONORES

5.5.1 METHODOLOGIE

Après avoir déterminé les niveaux sonores et les populations impactées sur l'ensemble de l'agglomération, on souhaite monétariser le coût de ces nuisances.

La valorisation des nuisances sonores fait généralement intervenir deux facteurs :

- la valorisation de la gêne liée au bruit qui peut être approchée soit par des enquêtes de préférences déclarées soit par l'analyse des valeurs foncières des logements en fonction de leur niveau d'exposition au bruit,
- le deuxième facteur et qui peut d'ailleurs être très important correspond à la valorisation des effets sur la santé humaine que provoquent les nuisances sonores et notamment le coût pour la collectivité d'un certain nombre de pathologies cardiovasculaires dont le lien avec le bruit a été établi.

En l'absence de données spécifiques pour l'agglomération de Dakar, on utilise dans la suite les valeurs françaises que le Sétra¹² a établies sur la base de l'étude HEATCO¹³ et que nous adaptons au contexte sénégalais.

L'étude HEATCO fonde ses résultats sur l'utilisation du travail de Navrud¹⁴ qui consiste en une revue de littérature extensive, prenant en compte des études utilisant la méthode des préférences révélées, d'autres la méthode des préférences déclarées et concernant les bruits liés aux transports routier, ferroviaire et aérien. Navrud a ainsi pu déterminer une valeur moyenne pour la gêne liée au bruit dans l'Union européenne : 25 €2002/dB(A) (Lden)/foyer exposé/an. À cette valeur, est ajoutée la valeur monétaire des effets des nuisances sonores sur la santé. L'étude HEATCO reprend la méthodologie de l'étude UNITE¹⁵ qui monétarise les effets du bruit sur le système cardiovasculaire, trois pathologies sont prises en compte : les infarctus du myocarde, les angines de poitrine et l'hypertension.

L'adaptation au contexte sénégalais consiste à intégrer les évolutions de revenu depuis 2010 et à prendre en compte le ratio entre la valeur de la vie humaine en France et au Sénégal.

¹² Sétra, Monétarisation des externalités environnementales, 2010.

¹³ HEATCO (2006)

¹⁴ Navrud, The State of the Art on Economic Valuation of Noise 2002

¹⁵ UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency, Deliverable 11 Environmental Marginal Cost Case Studies, 2003

Lden	France 2010 en Euros 2010	Sénégal 2021 en FCFA 2021
50	0 €	0 XOF
51	11 €	836 XOF
52	21 €	1 596 XOF
53	32 €	2 433 XOF
54	43 €	3 269 XOF
55	54 €	4 105 XOF
56	65 €	4 941 XOF
57	75 €	5 702 XOF
58	86 €	6 538 XOF
59	97 €	7 374 XOF
60	108 €	8 210 XOF
61	119 €	9 046 XOF
62	130 €	9 883 XOF
63	150 €	11 403 XOF
64	167 €	12 695 XOF
65	187 €	14 216 XOF
66	209 €	15 888 XOF
67	233 €	17 713 XOF
68	259 €	19 689 XOF
69	287 €	21 818 XOF
70	317 €	24 098 XOF
71	350 €	26 607 XOF
72	385 €	29 268 XOF
73	422 €	32 080 XOF
74	462 €	35 121 XOF
75	505 €	38 390 XOF
76	550 €	41 811 XOF
77	597 €	45 384 XOF
78	648 €	49 261 XOF
79	701 €	53 290 XOF

Tableau 27 : Valorisation des nuisances sonores (par personne et par an) Source calcul setec

Il est par ailleurs nécessaire de corriger les valeurs de bruit fournies par le modèle en extérieur pour tenir compte de l'isolation sonore fournie par les habitations : en France, l'isolation moyenne sur du bâti ancien non rénové est de l'ordre de 20/25 dB(A). On atteint 25/30 dB(A) sur du bâti récent ou rénové (double-vitrage thermique), et 30 dB(A) pour du bâtiment neuf. Pour Dakar où du logement précaire est encore très présent, on peut considérer un isolement plus bas, de l'ordre de 15 dB(A).

5.5.2 RESULTATS

Sur la base de l'ensemble des analyses précédentes, l'estimation du coût des nuisances sonores liées au trafic routier dans l'agglomération de Dakar peut être estimée dans une fourchette comprise entre **0,6 et 2,3 Mds de FCFA** pour l'année 2021 (hors effet lié au COVID). C'est la fourchette haute que l'on retiendra pour la synthèse générale.

6 EXTERNALITÉS LIÉES AUX ACCIDENTS DE LA CIRCULATION

6.1 ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES

Une analyse objective de l'accidentologie sur les routes de la région Dakaroise passe par un recensement exhaustif des données d'accidents disponibles. L'analyse des données à disposition issues des statistiques des sapeurs-pompiers, l'analyse de leur évolution dans le temps et de la typologie permet d'effectuer un diagnostic synthétique de l'accidentologie dans région de Dakar.

6.1.1.1 ÉVOLUTION DES ACCIDENTS SUR LES SEPT DERNIERES ANNEES

De 6036 cas d'accidents en 2015 à 8400 cas en 2021, les nombre d'accidents de la route dans la région de Dakar a connu une hausse de 5% en 6 ans avec un pic en 2021 pour le nombre d'accidents sur l'année et un pic en 2018 sur le nombre de décès qui est passé à 173 personnes sur l'année.

Globalement sur les 7 dernières années **46 890 accidents** ont été recensés par les sapeurs-pompiers de la région ayant fait **65 289 victimes** sur les routes et ayant causé le **décès de 1 033 individus**.

Cette évolution constante des cas d'accident montre qu'il est nécessaire de renforcer les mesures en faveur de la sécurité routière notamment en faveur des piétons qui représentent une part importante des tués (quasiment la moitié en 2019 et 2020).

La causalité principale des accidents de circulation soulignée par les sapeurs-pompiers reste liée au facteur humain. Parmi les causes il a été cité l'excès de vitesse, le non-respect du code de la route, la conduite en état d'ivresse, le défaut de maîtrise de conduite, le refus de la priorité à droite, la vétusté du matériel roulant, l'utilisation du téléphone portable au volant et surtout la violation des signalisations horizontales et verticales.

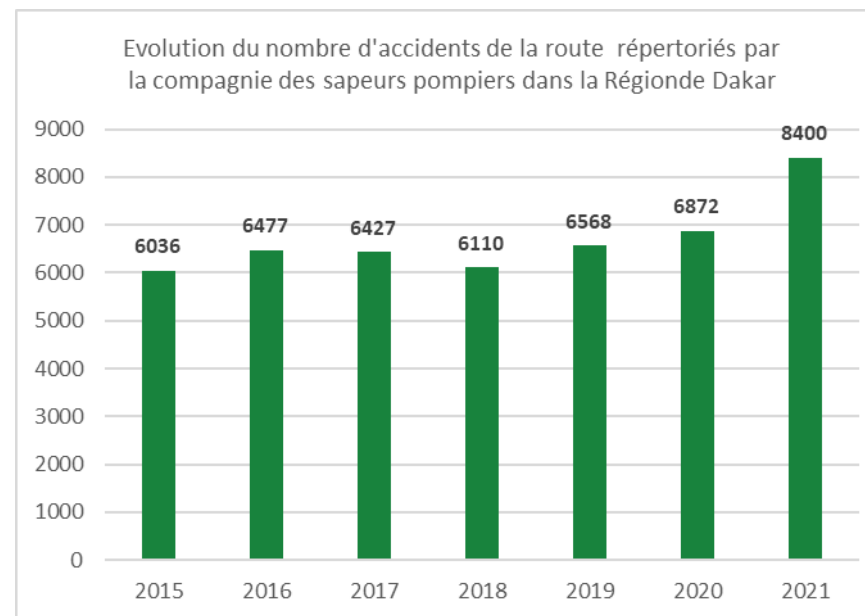


Tableau 28 : Nombre annuel d'accidents de la route – Région de Dakar (Source sapeurs-pompiers)

6.1.1.2 REPARTITION DES ACCIDENTS SELON LES TYPES

Avec une **moyenne de 6 226 accidents** par an selon les données de sapeurs-pompiers et de **157 décès en moyenne entre 2015 et 2021**, le niveau d'accidentologie reste très élevé sur la région est en évolution croissante depuis 2015.

La diversité de la fréquentation des routes par tous les modes de transport fait constatés des accidents de natures et de causes variées. Dans le classement des sapeurs-pompiers, 32 % des accidents sur la période 2019-2021 sont des accidents de deux roues motorisés (chute de moto), **14% des accidents sont des motos** renversées par des voitures et 18% des accidents impliquent des véhicules automobiles et des piétons. Les collisions impliquant que des **véhicules automobiles** ayant nécessité l'intervention des sapeurs-pompiers représentent **7% des accidents** recensés.

Globalement la nature des accidents implique en majorité des cyclomoteurs qui cumulativement sont concernés par 43% des accidents. Le reste des accidents implique dans une moindre mesure les véhicules hippomobiles mais surtout les piétons qui souvent victimes des autres modes de déplacement.

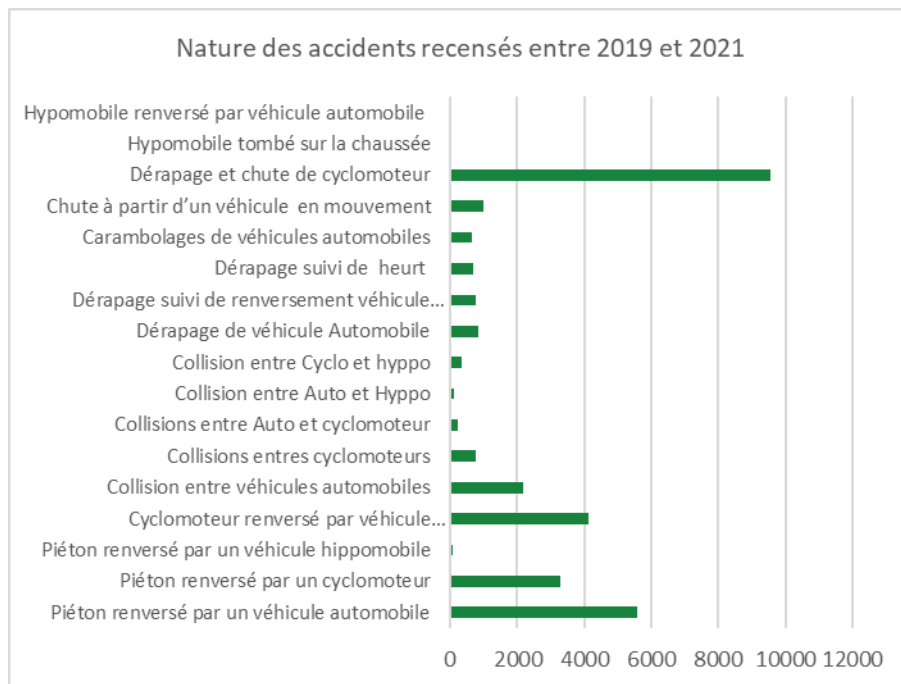


Tableau 29 : Nature des accidents recensés entre 2019 et 2021 – Région de Dakar (Source sapeurs-pompiers)

6.2 VALORISATION DES EXTERNALITES LIEES AUX ACCIDENTS DE LA CIRCULATION

6.2.1.1 METHODOLOGIE ET HYPOTHESES

La principale composante de la valorisation de la sécurité routière est constituée par le coût des tués pour la collectivité : cette composante s'estime simplement en multipliant le nombre de personnes tuées chaque année par la valeur statistique de la vie humaine (cf. §3.1.1.2). Elle est sous-estimée car les statistiques d'accident transmises par les sapeurs-pompiers n'intègrent pas les décès survenus quelques temps après un accident (après évacuation des victimes à l'hôpital par exemple).

Mais ce n'est pas le seul impact à valoriser : il faut tenir compte du coût pour la collectivité des blessés légers non hospitalisés, des blessés graves hospitalisés et des dommages matériels.

Les données transmises par les sapeurs-pompiers ne permettent pas d'identifier le nombre de blessés graves ou léger. On propose pour estimer ces nombres de s'appuyer sur des statistiques d'accidentologie françaises pour les accidents en agglomération.

Tableau 7 : Taux d'accidentologie en traversée d'agglomération

Population de l'agglomération (en nombre d'habitants)	Tués pour 100 accidents	Blessés hospitalisés pour 100 accidents	Blessés légers pour 100 accidents
< 5 000	9,6	37,4	101,6
5 000 – 20 000	4,8	23,4	106,3
20 000 – 50 000	3,0	12,3	115,8
50 000 – 100 000	3,1	11,9	110,9
> 100 000	2,3	7,7	123,2

Tableau 30 : Taux d'accidents en agglomération (Source Circulaire d'évaluation socio-économique française 2019)

Le tableau ci-dessus présente pour la France des taux de tués et blessés pour 100 accidents survenus en agglomération selon la taille de l'agglomération. Le calcul moyen du nombre de tués pour 100 accidents dans la région de Dakar sur la période 2015-2021 donne un chiffre de 2,2 tués, cohérent avec la valeur de 2,3 tués du tableau précédent pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants.

Pour l'estimation du nombre de blessés graves, on propose donc de retenir par homothétie une valeur de 7,4 blessés graves pour 100 accidents. Pour le nombre de blessés légers, on retient 110 blessés légers pour 100 accidents de manière à rester

cohérents avec les nombres de victimes établis par les sapeurs-pompiers. Ces différentes hypothèses permettent de ventiler les victimes entre tués, blessés selon la gravité et personnes indemnes.

Année	Nombre d'accidents	Nombres de victimes				
		Total	Indemnes	Blessés légers	Blessés graves	Tués
2015	6 036	8 942	1 714	6 640	447	142
2016	6 477	8 829	1 094	7 125	479	131
2017	6 427	8 833	1 135	7 070	476	153
2018	6 110	8 547	1 201	6 721	452	173
2019	6 568	8 720	859	7 225	486	150
2020	6 872	8 464	271	7 559	509	125
2021	8 400	12 954	2 933	9 240	622	159

Tableau 31 : Accidents de la route et distinction des victimes par type – Région de Dakar (Source sapeurs-pompiers et calcul setec)

Il reste ensuite à fixer une valorisation du coût pour la collectivité des blessés légers et graves et des dommages matériels. Comme le montre le tableau ci-dessous, la circulaire d'évaluation socio-économique des projets de transport française fixe ces coûts à 12,5% de la valeur statistique de la vie humaine pour les blessés hospitalisés et à 0,5% de la valeur statistique de la vie humaine pour les blessés légers.

Valeurs tutélaires de l'insécurité (en €₂₀₁₅ en 2015)

Tués (VVS : valeur de la vie statistique)	3 200 000
Blessé hospitalisé (12,5% de la VVS)	400 000
Blessé léger ² (0,5% de la VVS)	16 000

Tableau 32. Valeurs tutélaires de l'insécurité (Source Circulaire d'évaluation socio-économique française 2019)

Dans la même circulaire, le coût des dommages matériels d'un accident de la circulation est estimé à 5 170€ en valeur de 2015. On le transformera en FCFA par application des taux de change en parité de pouvoir d'achat après prise en compte de l'inflation.

6.2.1.2 RESULTATS

Sur la base des éléments présentés ci-dessus, le coût de l'insécurité routière pour la région de Dakar et l'année 2021 peut être estimé à près de 93 Mds de FCFA. Ce coup très important est détaillé dans le tableau ci-dessous. Un peu moins de la moitié correspond au nombre de tués.

	Valorisation unitaire (FCFA)	Nombre	Valorisation totale (Mds de FCFA)
Tués	273 766 024 XOF	159	43,5
Blessés graves	34 220 753 XOF	622	21,3
Blessés légers	1 368 830 XOF	9 240	12,6
Dommages matériels	1 800 703 XOF	8 400	15,1
Total			92,6

Tableau 33 : Accidents de la route et distinction des victimes par type – Région de Dakar (Source sapeurs-pompiers et calcul setec)

7 EXTERNALITÉS LIÉES AUX ÉMISSIONS ROUTIÈRES DE POLLUANTS

7.1 ANALYSE DES MESURES DE QUALITÉ DE L'AIR

Cette section est une synthèse de l'ensemble des éléments relatifs à la campagne de mesure de la qualité de l'air ambiant, présentés dans le livrable L2 « Rapport de collecte de données final – version B00 ».

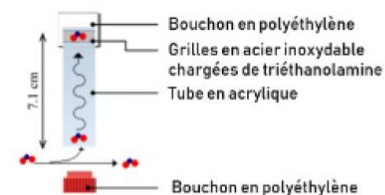
7.1.1 METHODOLOGIE

La campagne de mesure a débuté les 9 et 10 mai 2022 et s'est poursuivie jusqu'au 24 et 25 mai 2022 en ayant pour objectif de mesurer le dioxyde d'azote NO₂, le dioxyde de soufre SO₂, le benzène C₆H₆ et les particules (PM₁₀/PM_{2,5}), soient les principaux polluants traceurs de la pollution atmosphérique en proximité du trafic routier.

Pour mesurer ces polluants, les moyens suivants ont été déployés pendant la campagne.

Les gaz (NO₂, SO₂ et Benzène) ont été mesurés à l'aide d'échantillonneurs passifs « long term » de marque Passam (<https://www.passam.ch/products>). Le principe est de piéger le gaz sur un support solide lors de sa diffusion. Il est présenté sur les figures ci-dessous. La durée d'exposition est de l'ordre de 14 jours par préleveur. L'analyse des supports est ensuite conduite par spectrophotométrie dans un laboratoire français.

L'appareil utilisé pour la caractérisation des poussières (PM₁, PM₁₀, PM_{2,5} et TSP) dans la zone du projet est le Dustmate DM 11984. Cet analyseur portable Dustmate, est basé sur un principe de mesure par néphélomètre laser, il permet une analyse immédiate avec lecture directe et enregistrement des données de la concentration en poussières. L'appareil fournit ainsi la mesure des particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀), des particules fines de diamètre inférieur à 2,5 µm (PM_{2,5}) et des particules ultrafines de diamètre inférieur à 1 µm.



Principe de l'échantillonneur passif Passam



Echantillonneur passif Passam dans son abri



Dustmate pour la mesure des particules

La cartographie suivante présente l'ensemble des 20 sites de mesures instrumentés pendant la campagne. Elle indique la typologie des sites de mesure en fonction des polluants mesurés. À noter que ces données ont été complétées dans la suite du rapport par les données d'observation réalisées par le Centre de Gestion de la Qualité de l'air (CGQA) sur son réseau de stations fixes.



Figure 31 : Localisation des points de mesure sur la campagne 2022 à Dakar, Sénégal

Le tableau suivant liste les sites de prélèvement, leurs coordonnées (longitude et latitude) et les polluants mesurés.

Tableau 34 : localisation des points de mesure qualité de l'air et polluants mesurés

Site	Point de mesure	Longitude (°)	Latitude (°)	NO ₂	SO ₂	C ₆ H ₆	PM10 – PM2,5
PF01	Stade Ngor	-17.50931	14.74681	x	x	X	x
PF02	ENEA	-17.47829	14.70531	x			
PF03	Mairie Grand Dakar	-17.45709	14.70879	x	x	X	
PF04	Centre de santé	-17.44217	14.70871	x			
PF05	Maison presse	-17.45093	14.67440	x	x	X	
PF06	Eglise KMS 1	-17.31725	14.77375	x			
PF07	Supeco Golf	-17.41477	14.76698	x			
PF08	Maire Grand Mbao	-17.31180	14.74000	x	x	X	x
PF09	Hôtel de Ville Diamniadio	-17.18439	14.72016	x			
PF10	Mairie Bambilor	-17.18658	14.80112	x			
PR11	Mairie Rufisque	-17.27202	14.71454	x	x	X	x
PR12	Poste Thiaroye	-17.37807	14.74598	x	x	X	
PR13	23 BIMA	-17.42110	14.70292	x			
PR14	Bulding Maginot	-17.43663	14.66600	x			
PR15	Mairie Pikine Nord	-17.39413	14.75452	x			
PR16	Lycée Limamou Laye	-17.37891	14.77784	x			
PR17	Mairie Patte d'Oie	-17.44321	14.74903	x	x	x	x
PR18	Samu Liberté 6	-17.46556	14.73870	x	x	x	x
PR19	Ecole Papa G Fall	-17.44087	14.67744	x			
PR20	EDK Pikine	-17.40929	14.74700	x	x	x	

7.1.2 REGLEMENTATION EN VIGUEUR

L'ensemble des polluants mesurés durant la campagne, excepté les BTEX et les PM_{2,5}, présente des valeurs limites (normes NS 05-062) proposées par la loi n°2001-01 du 15 janvier du code de l'environnement du Sénégal. Ces valeurs ainsi que les valeurs guides de l'OMS en 2021 sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 35 : réglementation sénégalaise NS-02-062 et valeurs guides OMS 2021 sur de qualité de l'air

Polluant	Moyenne temporelle	Valeurs réglementaires sénégalaises NS-02-062 ¹⁶	OMS 2021 ¹⁷
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Horaire	-	-
	Journalière	125	40
	Annuelle	50	-
Dioxyde d'azote (NO ₂)	Horaire	200	200
	Journalière	-	25
	Annuelle	40	10
PM10	Journalière	260	45
	Annuelle	80	15
PM2,5	Journalière	-	15
	Annuelle	-	5

7.1.3 RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE

Les résultats des mesures des polluants gazeux (NO₂, SO₂, Benzène) et particulaires (PM10 et PM2,5) sont présentés dans le tableau suivant. Les résultats des mesures du Toluène et Ethylbenzène, qui sont deux composés organiques volatils (non réglementés) mesurés classiquement en même temps que le benzène, ont également été ajoutés.

¹⁶ Loi du 15 janvier 2001 portant Code de l'Environnement élaboré par la République du Sénégal

¹⁷ Valeurs guides qualité de l'air de l'Organisation Mondiale de la Santé 2021

Tableau 36 : résultats de la campagne de mesure qualité de l'air de mai 2022 à Dakar

Site	Nom	Concentrations mesurées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur 15 jours sur la période du 9 au 25 mai 2022					Concentrations mesurées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur 8 heures		
		NO ₂	SO ₂	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	Jour mesure	PM10	PM2.5
PF01	Stade Ngor	53.4	-	-	-	-	-	-	-
PF02	ENEA	36.3	17.1	5.5	10.2	2.3	12/05/2022	634.0	163.0
PF03	Mairie Grand Dakar	44.4	19.2	8.6	21.0	4.4	11/05/2022	298.0	97.0
PF04	Centre de santé	40.5	11.8	4.9	13.8	3.4	10/05/2022	278.0	79.0
PF05	Maison presse	30.6	18.4	5.7	15.6	3.1	13/05/2022	313.0	98.0
PF06	Eglise KMS 1	96.4	58.8	20.0	42.6	9.3	-	-	-
PF07	Supeco Golf	22.4	-	-	-	-	-	-	-
PF08	Mairie Grand Mbao	52.4	37.6	6.2	14.0	3.2	09/05/2022	263.0	75.0
PF09	Hôtel de ville Diamniadio	29.9	-	-	-	-	-	-	-
PF10	Mairie Bambilor	12.9	7.4	0.6	2.4	<0,4	-	-	-
PR11	Mairie Rufisque	39.3	-	-	-	-	-	-	-
PR12	Poste Thiaroye	62.3	-	-	-	-	-	-	-
PR13	23 BIMA	37.8	-	-	-	-	-	-	-
PR14	Building Maginot	45.3	-	-	-	-	-	-	-
PR15	Mairie Pikine Nord	40.1	17.3	5.4	15.0	2.9	-	-	-
PR16	Lycée Limamou Laye	22.3	-	-	-	-	-	-	-
PR17	Mairie Patte d'Oie	25.1	-	-	-	-	-	-	-
PR18	Samu Liberté 6	44.6	-	-	-	-	-	-	-
PR19	Ecole Papa G Fall	-	-	-	-	-	-	-	-
PR20	EDK Pikine	53.3	37.5	12.5	26.9	6.2	-	-	-
Maximum		96.4	58.8	20.0	42.6	9.3	-	634.0	163.0

Point présentant les concentrations les plus élevées

En gras, les points dépassant les valeurs réglementaires annuelles en SO₂, NO₂ et PM10

Les concentrations maximales ont été mesurées sur le point « Eglise KMS1 » pour l'ensemble des polluants gazeux. A noter que la campagne ayant duré 2 semaines, les résultats ont été comparés à titre indicatif à ces valeurs réglementaires.

Pour le dioxyde d'azote :

- La valeur guide annuelle sénégalaise est respectée sur 10 des 20 points mesurés ;
- Les valeurs guides annuelles de l'OMS sont dépassées sur la quasi-totalité des points.

Pour le dioxyde de soufre, seul le point avec la concentration maximale de « Eglise KMS 1 » présente un dépassement de la valeur réglementaire annuelle sénégalaise et journalière de l'OMS. L'ensemble des valeurs réglementaires sont respectées sur les autres points de mesures.

Pour les particules PM10 et PM2.5, les concentrations les plus élevées sont mesurées sur les points ENEA et Maison Presse positionnés à proximité des voies de circulation les plus fréquentées (route de la corniche et avenue Cheikh Anta Diop). Malgré un trafic plus faible sur la route de l'ENEA par rapport à Maison Presse, les niveaux en PM sont deux fois plus forts sur cet axe. Cela peut s'expliquer par la remise en suspension des poussières au passage des véhicules (trottoirs ensablés).

L'ensemble des valeurs mesurées (sur 8h) durant la campagne dépasse les valeurs guides sénégalaises et de l'OMS en moyennes journalières et annuelles.

Ces concentrations élevées en particules peuvent en partie être expliquées par :

- La remise en suspension des poussières au passage des véhicules sur des chaussées souvent empoussiérées ou non pavées ;
- L'accumulation de poussières sur ces chaussées et les abords des voies durant toute la saison sèche, les dernières précipitations avant la campagne de mesures ayant eu lieu au cours du mois d'octobre 2021.
- L'occurrence de plusieurs épisodes de poussières désertiques durant les jours et semaines précédant la période de mesure (voir photo satellite de la NOAA ci-dessous) ;

Ces résultats ont été complétés par d'autres mesures disponibles auprès du CGQA et utilisés pour assurer le calage du modèle de dispersion des polluants atmosphériques (voir section suivante), c'est-à-dire pour s'assurer que les résultats de la modélisation sont bien en accord avec la mesure.



Figure 32 : Photo satellite d'un panache de poussières désertiques observées au-dessus de Dakar le 11 mai 2022 (source : NOAA)

7.2 CALCUL DES EMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHERIQUES

7.2.1 METHODOLOGIE

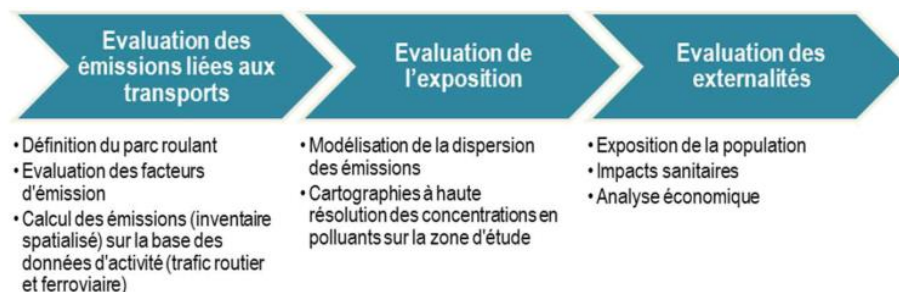


Figure 33 : Présentation schématique de la méthodologie mise en œuvre

La méthodologie générale mise en œuvre pour évaluer les externalités associées à la pollution de l'air liée aux transports (schématisé sur la Figure 33) repose sur les trois piliers suivants :

- Réalisation d'un inventaire spatialisé des émissions routières et ferroviaires sur la zone d'étude ;
- Modélisation de la qualité de l'air sur la zone afin d'évaluer l'exposition de la population ;
- Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution de l'air et calcul des externalités.

Le calcul des émissions et l'évaluation de l'exposition font plus spécifiquement l'objet de ce chapitre.

7.2.2 ÉVALUATION DES EMISSIONS LIÉES AUX TRANSPORTS

Afin de calculer les émissions locales liées au secteur du transport, il est indispensable de disposer des facteurs d'émissions pour chaque activité, dépendant du type de véhicule pour le transport routier et du type de train pour le transport ferroviaire. Associés à la composition du parc et au nombre de véhicules en circulation, ces facteurs d'émissions permettent de calculer les émissions totales sur chaque axe documenté. La détermination des facteurs d'émission est une étape indispensable pour évaluer la contribution du transport à la pollution de l'air sur la zone.

7.2.2.1 ANALYSE DES TRANSPORTS ROUTIER ET FERROVIAIRE

Composition du parc automobile

Pour le trafic routier, secteur dont la contribution aux émissions de polluants atmosphériques est de loin la plus importante, la détermination des facteurs d'émissions est réalisée selon l'approche suivante : analyse de la composition du parc automobile, calcul des facteurs d'émissions pour chaque type de véhicule du parc d'après la méthodologie européenne EMEP et ajustement de ces facteurs grâce aux mesures en air ambiant réalisées en mai 2022 et aux observations du CGQA, et aux contrôles à l'échappement réalisés par le CCTVA.

Selon les données transmises par le CETUD, le parc automobile immatriculé à Dakar est composé de 421 377 véhicules dont les deux tiers sont des véhicules particuliers (50% gazole, 50% essence).

Tableau 37 : Répartition du parc routier en fonction du type de véhicule et du type de carburant à Dakar (source CETUD)

Type de véhicules	Nombre et pourcentage de répartition des véhicules immatriculés en fonction du type de carburant				Total
	Gazole	Essence	Gaz	Electricité	
Voitures particuliers	141 138	140 290	48	12	281 488
	50%	50%	0%	0%	100%
Poids Lourds	61 415	3 529	11	15	64 970
	95%	5%	0%	0%	100%
Autocar/Minibus	10 574	67	4	0	10 645
	99%	1%	0%	0%	100%
Motocyclette	81	52 627	5	11	52 724
	0%	100%	0%	0%	100%
Autres	11 524	24	1	1	11 550
	100%	0%	0%	0%	100%
Toutes catégories	224 732	196 537	69	39	421 377
	53%	47%	0%	0%	100%

L'âge moyen permet de définir une année moyenne de 1^{ère} mise en circulation des véhicules par catégorie. On note un âge moyen de l'ordre de 20 ans pour les véhicules particuliers et les poids lourds qui représentent environ 80% du parc routier. Selon la norme européenne de classification des véhicules (fonction du type, de la catégorie, du carburant, ...), les véhicules issus de ces deux catégories sont classés Euro 3. Même s'il représente que 2,5% du parc routier, les véhicules de type autocar/minibus ont un âge moyen de 28 ans, susceptibles d'être de plus gros émetteurs de polluants atmosphériques, avec une classification plus ancienne Euro 1. A contrario, les deux-roues de type motocyclette sont en moyenne plus récentes avec une classification Euro 4, et représentent environ 12,5% du parc. Les autres véhicules sont classés entre la norme Euro 2 et la norme Euro 3, et comptent pour seulement 2,7% des véhicules du parc.

Tableau 38 : Age moyen des véhicules par type (source CETUD)

Type de véhicules	Age moyen (années)	Année moyenne de 1 ^{ère} mise en circulation	Euro concernée
Voitures Particuliers	20	2 002	Euro 3
Poids Lourds	20	2 002	Euro 3
Autocar/Minibus	28	1 994	Euro 1
Motocyclette	13	2 009	Euro 4
Autres	21	2 001	Euro 2 - 3
Toutes catégories	19	2 003	Euro 3

En termes de consommation de carburant, les données fournies par le CETUD sur la consommation totale du parc roulant immatriculé ont pu être utilisées pour évaluer une consommation annuelle de gazole et d'essence. Pour cela, un âge moyen de 20 ans pour l'ensemble du parc de véhicules a été utilisé.

Tableau 39 : Consommations totales et par véhicule selon le type de carburant (d'après données du CETUD)

Type de carburant	Nombre de véhicules	Consommation par véhicule (T/veh)	Conso. totale (Tonne)	Conso. annuelle (Tonne/an)
Gazole	224 732	30,11	6 766 681	338 334
Essence	196 537	11,38	2 236 591	111 830
Total	421 269	-	-	450 164

Composition du parc ferroviaire

Le trafic ferroviaire à Dakar est composé d'un trafic de fret de marchandises et d'un trafic de transports en commun.

Les informations collectées indiquent que concernant le fret de marchandises opéré par des sociétés privées, des locomotives diesel-électrique roulent sur deux voies distinctes entre Dakar et les points kilométriques PK10 et PK5. Le trafic associé reste faible, de l'ordre de 4 trains par jour et par voie, soit un trafic moyen annuel de l'ordre de 500 passages environ.

Pour le TER, fonctionnant avec des locomotives électriques, la ligne ouverte en 2021 compte un trafic total moyen d'environ 32 760 passages par an entre Dakar et Diamniadio (toutes les 10 minutes du lundi au samedi de 5H30 à 21H, et toutes les 20 min de 21h à 22h dernier départ, et toutes les 20 minutes, le dimanche et les jours fériés de 6h30 à 22h dernier départ). Les trains parcourent les 36 kms de voies en 46 minutes.

Évaluation des facteurs d'émissions du transport routier

Les facteurs d'émissions utilisés dans le cadre de cette présente étude sont issus du guide européen EMEP/EEA¹⁸ sur l'inventaire des émissions de polluants atmosphériques liées au transport routier et ferroviaire. Ce guide propose des méthodologies de calcul en fonction de la disponibilité et la précision des données d'entrées. Les méthodes utilisées dans cette présente étude sont celles de niveau Tiers 1 et Tiers 2.

Les polluants d'études sont les polluants préconisés par le guide méthodologique sur le volet « Air et Santé » des études d'impact routières utilisé en France, à savoir :

¹⁸ EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2021

les oxydes d'azotes (NO_x), les particules en suspension (PM10), les particules fines (PM2,5), le monoxyde de carbone (CO), les Hydrocarbures (HC) / Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM), le benzène (C₆H₆) et le benzo [a]pyrène (BaP).

Le tableau suivant liste par polluant les différents processus d'émissions considérés : les émissions liées à l'échappement des véhicules, à l'usure des pneus/freins et l'abrasion de la route lors du roulage des véhicules, la remise en suspension des particules du fait de la particularité des dépôts de poussières désertiques dans la région, et enfin l'évaporation de certains polluants gazeux (réservoirs de carburant, fuites, ...).

Tableau 40 : Type de calculs d'émissions réalisés pour le transport routier

Composé	Echappement ¹⁹	Usure ²⁰			Remise en suspension ²¹	Evaporation ²²
		Pneus	Freins	Abrasion route		
NO _x	X					
PM10	X	X	X	X	X	
PM2.5	X	X	X	X	X	
CO	X					
NMVOG	X					X
Benzène	X					X
SO ₂	X					
BaP	X					X

Pour l'ensemble des polluants, la méthode de calcul des émissions repose sur des facteurs d'émission appliqués au nombre de kilomètres parcourus sur le réseau routier du grand Dakar.

Spécificité des émissions de dioxyde de soufre

Avec la particularité d'être fortement dépendant de la teneur en soufre du carburant, les émissions de dioxyde de soufre SO₂ ont été calculées à partir de la consommation annuelle d'essence et de gazole. Produit lors de la combustion du carburant, le dioxyde de soufre est en effet issu du soufre contenu dans les produits pétroliers.

Le décret sénégalais n°2014-961 donne les spécifications techniques suivantes sur les produits pétroliers, valeurs considérées pour le calcul des émissions de SO₂.

Tableau 41 : Teneur en soufre admis dans les carburants par le décret sénégalais n°2014-961

Type de carburant	Teneur en soufre en %	Teneur en soufre en ppm
Essence ordinaire	0,1%	1000
Supercarburant	0,1%	1000
Gasoil	0,5%	5000

Spécificité de la remise en suspension des particules PM10 et PM2.5

Afin d'estimer les émissions de particules en PM10 et PM2,5 remises en suspension lors du passage des véhicules sur la chaussée, la méthodologie utilisée provient de l'agence américaine US EPA (2011). Elle est disponible via le lien suivant : <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html>

Cette méthodologie repose sur une formule incluant notamment le poids et la vitesse du véhicule. Un des paramètres clés utilisé est le paramètre nommé « silt loading » correspondant à la quantité de poussières sur la surface de la chaussée.

Les émissions de poussières remises en suspension sont calculées suivant l'équation suivante :

$$E = k * c^{0,91} * W^{1,02}$$

Avec:

- **E** : quantité de poussières émises par le roulement es véhicules (g/veh/km)
- **K** : coefficient fonction de la taille de granulométrie (g/veh/km)
- **c** : la charge en poussières (en g/m²)
- **W** : poids moyen du véhicule (tonne)

¹⁹ EMEP/EEA guidebook 2019 – Update Oct. 2021 - Chapter 1.A.3.b.i-iv - Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motorcycles

²⁰ EMEP/EEA guidebook 2019 – Update Oct. 2021 - Chapter 1.A.3.b.vi-vii – Road transport: Automobile tyre and break wear – road abrasion

²¹ AP42, fifth Edition, Volume I. Chapter 13: Miscellaneous Sources. Section 13.2.2 Paved roads

²² EMEP/EEA guidebook 2019 – Update Oct. 2021- Chapter 1.A.3.b.v – Gasoline evaporation

La quantité de poussières ainsi calculée est ensuite réajustée en tenant compte des jours de pluie selon la formule suivante :

$$E_{ext} = E * \left(1 - \frac{P}{4N} \right)$$

Avec :

- **E_{ext}** : la quantité de poussières extrapolée en tenant compte des jours de pluie
- **P** : nombre de jours de pluie sur une année pour laquelle la précipitation était au moins supérieurs à 0,254 mm
- **N** : nombre de jours sur une année – N = 365 jours

Pour le paramètre c, la valeur utilisée dans le cadre de notre étude à Dakar est finalement de 1,75 g/m². Elle prend en compte la présence de poussières désertiques sur le sol et se trouve comprise dans la fourchette du paramètre par défaut proposé par l'US EPA pour les routes pavés (compris entre 0.03 et 400 g/m²). Elle a été déterminée grâce à un calage préliminaire, permettant d'obtenir les résultats de validation présentés en section 7.3.1.

Évaluation des facteurs d'émissions du transport ferroviaire

Le tableau suivant liste par polluant les différents processus d'émissions considérés : les émissions liées à l'échappement des trains de fret uniquement, les TER étant électrifiés. L'usure des roues et des freins sont considérés pour les deux types de transport. Vient s'ajouter l'usure des caténares pour les TER. Les facteurs d'émission de l'EMEP spécifiques au transport ferroviaire ont été utilisés pour le calcul des émissions associés à ce secteur.

Tableau 42 : type de calculs d'émissions réalisés pour le transport ferroviaire

Composé	Echappement ²³	Usure		
		Roues	Freins	Caténares
NO _x	X			
PM10	X	X	X	X
PM2.5	X	X	X	X
CO	X			
NMVOG	X			
Benzène	X			
SO ₂	X			
BaP	X			

En termes de consommation de carburant pour les locomotives diesel²⁴, l'hypothèse d'une valeur de 100 litres de gazole aux 100 kms a été retenue.

Comme indiqué par le centre Innovation, Science et Développement économique du Canada²⁵, la masse volumique du gazole étant de 0,840 kg/l à 15°C dans les pays tempérés, la valeur est amenée à 0,833 kg/l pour une température moyenne annuelle de 25°C à Dakar en appliquant un facteur correctif de 0,9915 sur la masse volumique.

7.2.2.2 LES FACTEURS D'EMISSIONS DES GES POUR LE TRANSPORT ROUTIER ET FERROVIAIRE

Les gaz à effet de serre (GES) considérés dans cette étude sont les suivants :

- Le dioxyde de carbone CO₂ ;
- Le méthane CH₄ ;
- Le protoxyde d'azote N₂O.

A partir du guide européen du calcul des émissions des gaz à effet de serre, les facteurs d'émissions préconisés reposent sur la consommation de carburant comme données d'entrées. Ils proviennent du guide européen EMEP/EEA présenté précédemment.

²³ EMEP/EEA guidebook 2019 – Update Oct. 2021 - Chapter 1.A.3.c - Railways

²⁴ <https://www.vendeetrain.fr/locomotives-diesel.html#:~:text=L'autorail%20consomme%20de%2050,l'ordre%20de%20700%20km>.

²⁵ [https://www.ic.gc.ca/eic/site/mc-mc.nsf/vwapj/FCV_Diesel.pdf/\\$file/FCV_Diesel.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/mc-mc.nsf/vwapj/FCV_Diesel.pdf/$file/FCV_Diesel.pdf)

Nous verrons par la suite que le CO₂ est le gaz à effet de serre majoritaire lorsque l'on parle des émissions associées au transport routier et ferroviaire (97% d'après le ministère de la transition écologique Français). La part du méthane, principalement émis par des processus organiques (agriculture, élevage, déchets) et lors de l'extraction des énergies fossiles (gaz naturel notamment), peut ainsi être considérée comme négligeable.

7.2.2.3 DEFINITION DU RESEAU D'ETUDE

Le réseau d'étude pris en compte pour le calcul des émissions et la modélisation de leur dispersion dans l'air ambiant est présenté sur la figure ci-dessous. Il provient du modèle de trafic exploité actuellement par le CETUD et correspond à la situation de calage 2019. L'ensemble des axes routiers constituant ce réseau a été considéré. Les trafics moyens journaliers (TMJA) associés à ces axes sont indiqués sur la figure suivante.



Figure 34 : Réseau routier considéré dans le modèle de qualité de l'air

7.2.3 RESULTATS

Inventaire des émissions polluants atmosphériques du secteur routier

Le tableau suivant compile les émissions calculées pour le transport routier sur la zone d'étude pour l'ensemble des composés étudiés, à partir des hypothèses et facteurs d'émissions recensés précédemment.

Tableau 43 : Consommations de carburant, d'énergie et émissions totales émises par le secteur routier par type de véhicule

		VL	PL	Car/Mini bus	2R	Total
Carburant	Tonnes	270 610	100 997	67 164	11 394	450 164
Energie	10⁶ MJ	8 784 586	2 346 693	1 558 895	551 973	13 242 147
NOx	Tonnes	1 631	1 950	1 218	107	4 905
PM10	Tonnes	4 221	3 792	1 344	776	10 133
PM2.5	Tonnes	2 294	955	372	198	3 819
CO	Tonnes	3 193	475	263	1 131	5 061
HC / COVNM	Tonnes	2 545	222	129	4 659	7 555
Benzène	Tonnes	254	22	13	466	755
SO2	Tonnes	191	101	67	2	361
BaP	g	3.5	0.3	0.1	0.0	3.9

La répartition des émissions en particules PM10 et PM2.5 par origine montre clairement la prédominance de la remise en suspension des particules au passage des véhicules sur la chaussée. Sur l'ensemble du secteur routier, cette remise en suspension compte pour 97% des émissions totales de particules PM10 et 89% des émissions totales de particules PM2,5.

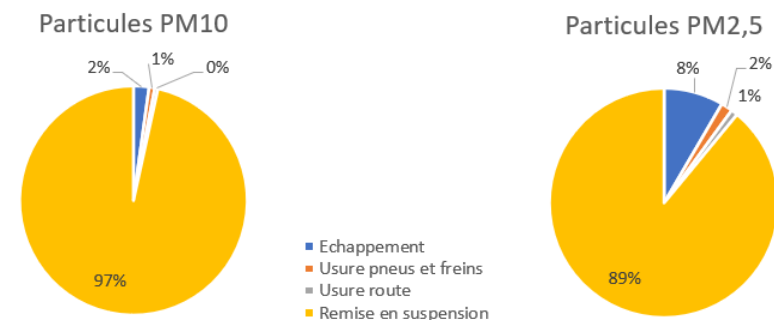


Figure 35 : Composantes des émissions de particules en suspension PM10 et particules fines PM2,5

On observe sur les graphiques ci-dessous de répartition des émissions de polluants par type de véhicules les informations suivantes :

- Les émissions en NOx sont réparties de façon homogène entre les VP, PL et Car/Minibus, et sont principalement dues à l'échappement ;
- Les voitures particulières représentent environ la moitié des émissions de particules PM10 et PM2.5, les poids lourds environ un quart et les cars/minibus environ 1/5 des émissions ;
- Les émissions de benzène sont principalement dues aux deux roues (environ deux tiers des émissions) et aux véhicules particuliers dont la majeure partie est liée à l'évaporation de ce polluant lors du remplissage du réservoir et des fuites éventuelles.

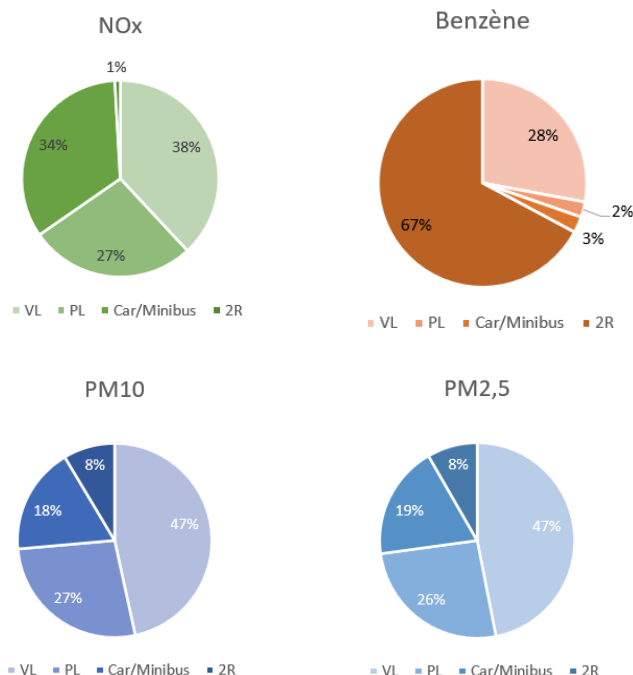


Figure 36 : Répartition des émissions de NOx, Benzène, PM10 et PM2,5 en fonction de la catégorie de véhicules

Inventaire des émissions de gaz à effet de serre du secteur routier

En utilisant les facteurs d'émissions fournies par EMEP et en les reliant à la consommation de carburant, les émissions de CO₂ équivalent (CO₂ eq) sont d'environ 1,5 millions de tonnes.

Tableau 44 : Bilan des émissions de CO₂ équivalent à Dakar (en milliers de tonnes)

GES - en milliers de tonnes	VL	PL	Car/Minibus	2R	Total
CO ₂ eq	859.1	320.2	213.1	37.4	1 429.9
CH ₄ - en CO ₂ eq	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N ₂ O - en CO ₂ eq	23.0	1.5	1.0	0.6	26.1
Total - en CO₂ eq	882.1	321.8	214.1	38.0	1 456.0

Inventaire des émissions de polluants atmosphériques du secteur ferroviaire

Comme le montre le tableau suivant, les émissions liées au roulage des trains à Dakar sont bien plus faibles que celles du secteur routier pour l'ensemble des polluants. Sur les particules PM10 et PM2,5, on notera que la majeure partie des émissions sont liées à l'usure des freins, rails et roues lors du roulage des trains plutôt qu'à l'échappement et à l'usure des caténaires.

Tableau 45 : Inventaire des émissions de polluants atmosphériques pour le secteur ferroviaire à Dakar

		Fret	Ter	Total
NOx	Tonnes	2	-	2
PM10	Tonnes	1	14	15
PM2,5	Tonnes	0.3	5.2	5.5
CO	Kg	446	-	446
HC / COVNM	Kg	194	-	194
Benzène	Kg	-	-	-
SO₂	Kg	417	-	42
BaP	g	1	-	1

En comparant les émissions liées au trafic ferroviaire par rapport à celles liées au trafic routier, on constate que celles-ci sont faibles pour les NO_x (0.05%) et pour les particules PM10 / PM2.5 (0.14%). On peut donc les considérer comme négligeables pour le calcul de la dispersion des polluants atmosphériques dans la suite de l'étude.

Inventaire des émissions de gaz à effet de serre du secteur ferroviaire

Les émissions de gaz à effet de serre se limitent à celles du fret circulant au diesel, le TER fonctionnant avec de l'énergie électrique. Ces émissions sont reportées dans le tableau ci-dessous, et correspondent à moins de 0,01% des émissions associées au transport routier + ferroviaire.

Tableau 46 : Bilan des émissions de CO₂ équivalent à Dakar (en milliers de tonnes)

GES - en milliers de tonnes	Fret	Train TER	Total
Total - en CO₂ eq	0.131	-	0.131

7.3 MODELE DE DISPERSION DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES

7.3.1 METHODOLOGIE

Afin d'évaluer correctement les impacts sanitaires de la pollution liée au transport, il faut déterminer la distribution spatiale des concentrations en NO₂, poussières et benzène sur la zone d'étude, polluants intervenant dans le calcul des risques sanitaires. Pour ce faire, des modélisations de dispersion des émissions en polluants ont été réalisées avec le logiciel ADMS-Urban développé par le CERC (UK). Ces modélisations prennent en compte les éléments suivants :

- Les émissions liées aux transports précédemment déterminées (NO_x, PM10, PM2.5 et benzène) ;
- La configuration de la zone (topographie, rugosité) ;
- La hauteur des bâtiments afin de prendre en compte les « effets canyons » (accumulation des concentrations entre les bâtiments) ;
- La météorologie ;
- Les résultats des mesures disponibles sur l'aire d'étude.

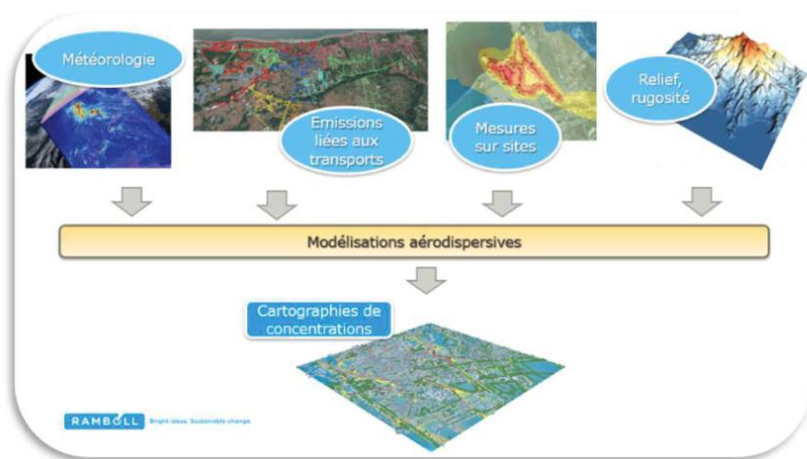


Figure 37 : Illustration de la démarche de modélisation de la qualité de l'air mise en œuvre

7.3.1.1 METEOROLOGIE

Le logiciel de modélisation utilise les paramètres météorologiques heure par heure pour simuler la dispersion des émissions de polluant et l'état de la qualité de l'air. Les paramètres utilisés pour cela sont les suivants : la température (en °C), la direction (en degrés) et la vitesse (m/s) du vent, les précipitations (en mm) et la couverture nuageuse (en octats), qui permet de recalculer le niveau de turbulence dans l'atmosphère.

Les données météorologiques sont celles observées durant l'année 2021 au niveau de l'ancien aéroport international Leopold-Sédar-Senghor de Dakar. Ces données ont été collectées auprès du site américain de la NOAA.

Sur la figure de gauche ci-dessous, on note que les vents proviennent majoritairement du Nord et sont en général de forces faibles à moyennes. La figure de droite indique que le ciel est globalement peu ou pas couvert d'octobre à juin et en particulier en mars et avril, alors qu'il est particulièrement couvert sur juillet-août en lien avec des précipitations observées à cette période de l'année.

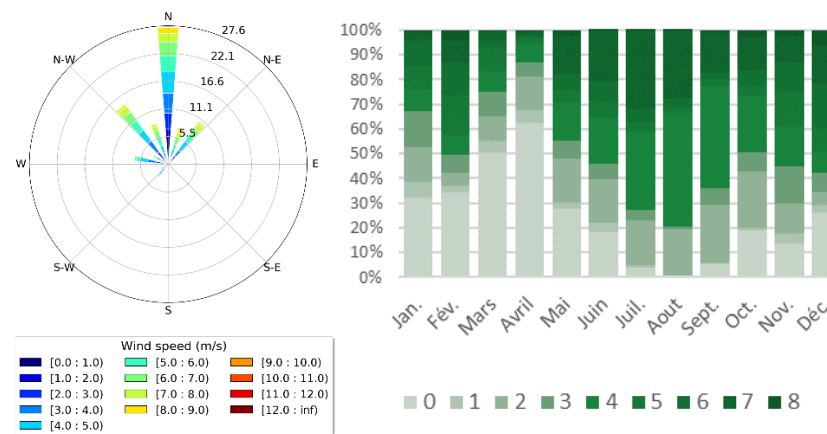


Figure 38 : Conditions météorologiques observées sur l'aéroport Leopold-Sédar-Senghar à Dakar en 2021

7.3.1.2 SPATIALISATION DES EMISSIONS LIEES AU TRANSPORT

Afin de calculer précisément l'exposition de la population aux concentrations, les émissions totales calculées ont été spatialisées à partir des données de trafics de véhicules issues du modèle de trafic du CETUD (voir figure du réseau routier en section 7.2.2 ci-dessus). La figure ci-dessous présente à titre d'exemple la spatialisation des émissions d'oxydes d'azote (NOx). Ces émissions calculées par km de voies et par seconde, ont été cadastrées ici par maille kilométrique pour plus de lisibilité. La même spatialisation a été réalisée pour les poussières et le benzène, qui sont les polluants considérés pour l'évaluation des impacts sanitaires.

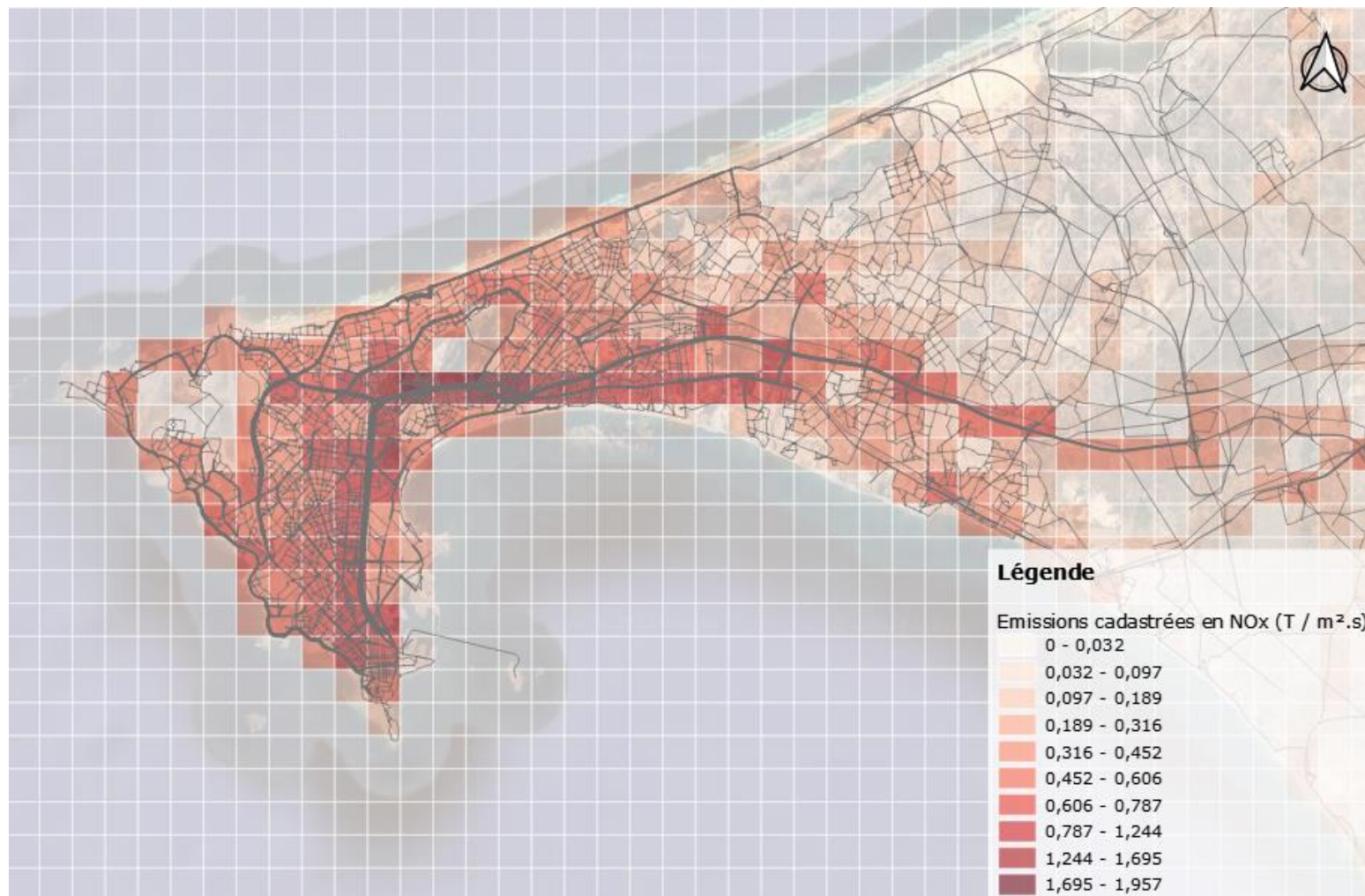


Figure 39: Cadastre des émissions de NOx sur la zone de Dakar pour intégration dans le modèle de dispersion de la qualité de l'air

7.3.1.3 VALIDATION ET CALAGE DU MODELE DE DISPERSION DES POLLUANTS

Afin de s'assurer de la qualité du modèle, c'est-à-dire que les sorties du modèle sont en accord avec les différentes mesures réalisées, deux étapes de validation ont été conduites :

- comparaison des facteurs d'émission utilisés pour les calculs d'émission du trafic routier avec les mesures réalisées directement à l'échappement par le CCTVA ;
- mise en perspective avec les données disponibles du projet de recherche DACCIWA ;
- comparaison des sorties du modèle de dispersion avec les mesures réalisées dans l'air ambiant, comprenant les résultats de la campagne conduite en mai 2022 et les données historiques du CGQA. Cette dernière étape nécessite l'intégration d'une pollution de fond (pour les poussières) sur la zone de Dakar, afin d'intégrer la contribution des différentes sources de pollution pour une comparaison avec les mesures réalisées.

Comparaison des Facteurs d'émission utilisés avec les émissions mesurées à l'échappement par le CCTVA

Sur la base représentative de 317 véhicules, le CCTVA a mené une campagne de mesure²⁶ de polluants atmosphériques à l'échappement pour deux régimes moteur (au ralenti et à 3 500 tr/mn) permettant principalement de calculer les émissions des oxydes d'azote (NO_x, à l'origine du NO₂ que l'on retrouve dans l'air ambiant) en ppm²⁷ ou encore l'extinction (ou opacité des fumées d'échappement) λ en m⁻¹ dans le cas des particules. Les informations sur chaque véhicule ont été recensées (marque, motorisation, type, cylindrée, âge ...).

Afin de comparer les mesures à l'échappement avec les émissions EMEP/EEA utilisées pour le calcul des émissions (en g/veh.s), la formule suivante a été appliquée pour les NO_x :

$$E_{NOx} = C_{g/m3} * Q$$

Avec :

- E_{NOx} : le facteur d'émission en g/veh.s
- C_{g/m3} : la concentration de NO_x exprimée en g/m³, convertie des concentrations mesurées initialement en ppm
- Q : le débit en sortie d'échappement en m³/s, calculé à partir du régime moteur et de la cylindrée des véhicules.

Pour les émissions de particules (PM10 et PM2.5), les formules suivantes sont utilisées à partir de l'extinction λ (mesurée en m⁻¹) :

$$E_{PM} = C_{g/m3} * Q$$

$$C_{mg/m3} = 6 * \lambda$$

Cette formule est issue d'un document du PIARC de 2019²⁸.

Les résultats obtenus sont reportés dans les deux tableaux suivants.

Tableau 47 : Comparaison des facteurs d'émission EMEP/EEA corrigés utilisés pour le calcul des émissions d'oxydes d'azote (VL et PL) avec les mesures à l'échappement du CCTVA

en g/veh.s	Mesure CCTVA (moyenne sur l'ensemble des véhicules, par catégorie)				EMEP/EEA corrigés	
	3 500 tr/min		Ralenti 850 tr/min			
Type véhicule	Gazole	Essence	Gazole	Essence	Gazole	Essence
VP	2.24E-02	4.06E-02	6.75E-03	2.69E-03	1.72E-02	5.67E-03
PL	7.81E-02	-	1.96E-02	-	9.56E-02	1.47E-01

Afin d'être conforme aux valeurs mesurées dans l'environnement durant la campagne de terrain (voir sections suivantes), il a été décidé d'ajuster les facteurs d'émission de NO_x fournis par l'EMEP en les multipliant par un facteur 1,6. Même s'il y a inévitablement des écarts liés notamment aux incertitudes dues aux hypothèses retenues (simplification du parc de véhicules...) et aux méthodes de mesure à l'échappement, on constate que les facteurs d'émission EMEP corrigés et finalement utilisés pour le calcul des émissions de NO_x sur le réseau de Dakar (VL et PL) sont bien du même ordre de grandeur que ceux dérivés des mesures à l'échappement.

²⁶ Dont les résultats figurent dans leur ensemble dans le livrable L2 « Rapport de collecte de données final – version B00

²⁷ Parties par million = 0,0001 %

²⁸ Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for ventilation, Technical Committee D.5 Road Tunnels, PIARC 2019

Les facteurs d'émission moyens utilisés se situent dans la gamme des valeurs mesurées pour un régime moteur compris entre le ralenti (850 tr/min) et 3500 tr/min. Cette gamme de régime doit couvrir une majorité des conditions de circulation rencontrées dans la ville de Dakar.

Tableau 48 : Comparaison des facteurs d'émission EMEP/EEA utilisés pour le calcul des émissions de particules à l'échappement (VL et PL) avec les mesures à l'échappement du CCTVA

en g/veh.s ²⁹	Mesure CCTVA				EMEP	
	3 500 tr/min		Ralenti 850 tr/min			
Type véhicule	Gazole	Essence	Gazole	Essence	Gazole	Essence
VP	6.17E-03	2.40E-03	1.53E-03	5.51E-04	1.07E-03	4.28E-05
PL	2.90E-03	-	1.03E-03	-	2.02E-03	-

En ce qui concerne les particules, principalement émises par les véhicules diesel, les facteurs d'émissions moyens utilisés pour le calcul des émissions des PL sont également dans la fourchette des valeurs dérivées des mesures du CCTVA. Les facteurs d'émissions des VL sont eux légèrement inférieurs à ceux observés par le CCTVA. Néanmoins la mesure des concentrations de poussières à l'échappement n'est pas directe (on passe par la mesure de l'opacité des fumées) et donc plus incertaine. Par ailleurs et comme on l'a vu plus haut dans ce document, les émissions de poussières à l'échappement sont très minoritaires comparées aux émissions dues à la remise en suspension de particules lors du passage des véhicules, les incertitudes associées au calcul des émissions à l'échappement sont donc de moindre importance. De ce fait, il n'a pas été apporté de correction aux facteurs d'émission de particules à l'échappement.

Plus généralement, on peut conclure à une bonne cohérence entre les facteurs d'émission retenus pour les calculs d'émission de NOx et particules et ceux mesurés à l'échappement par le CCTVA. Cette cohérence doit être confortée par la comparaison des résultats de concentration issus du modèle de dispersion avec les mesures réalisées dans l'air ambiant. Cette étape de validation est présentée dans les deux paragraphes suivants.

²⁹ Les facteurs d'émissions ont été recalculés en faisant l'hypothèse d'une vitesse moyenne de 50 km/h

³⁰ <https://www.imk-tro.kit.edu/10052.php>

Données du projet de recherche DACCIIWA

Il est intéressant de noter que les facteurs d'émissions utilisés dans la présente étude pour les oxydes d'azotes NO_x sont du même ordre de grandeur que ceux mentionnés dans le projet de recherche DACCIIWA³⁰ (notamment l'étude de Liousse et al de 2014), projet dont l'objectif est de quantifier l'impact des émissions anthropiques et naturelles sur la composition de l'atmosphère dans la région du Sud de l'Afrique de l'Ouest en s'appuyant sur des modèles météorologiques, de chimie et de qualité de l'air, des données satellite de nuages, précipitation, aérosols et rayonnement.

Tableau 49 : Comparaison des facteurs d'émission utilisées pour le calcul des émissions d'oxydes d'azotes NOx à l'échappement (VL et PL) avec ceux de Liousse et al., 2014

g/veh.km ³¹		Facteurs d'émission utilisés	Gamme de facteurs d'émissions - Liousse et al ³²
Type véhicule	Motorisation		
VL	Gasoil	1.15E+00	[4.57E-01 ; 9.14E-01]
	Essence	4.08E-01	[5.82E-01 ; 1.16E+00]
PL	Gasoil	8.80E+00	[1.83E+00 ; 3.65E+00]
	Essence	1.06E+01	[2.33E+00 ; 4.65E+00]

Pour les particules (poussières totales), les facteurs d'émissions utilisés ici à l'échappement se situent en dehors de la gamme des facteurs d'émissions reportés dans l'étude DACCIIWA (voir tableau ci-après). On notera toutefois que la comparaison directe n'est pas toujours évidente, puisque l'on parle ici souvent de la masse totale de particules (et donc pas forcément des émissions de PM₁₀) et de campagnes DACCIIWA réalisées pour certaines il y a plus de 10 ans, via des techniques de mesure diverses et dans d'autres pays africains. Par ailleurs cette incertitude sur les facteurs d'émission finalement utilisés pour les particules à l'échappement ne prête pas à conséquence, puisque la remise en suspension reste la part prépondérante des émissions de particules à Dakar. Rappelons également que le modèle final a été configuré afin de reproduire les concentrations de particules réellement observées dans l'air ambiant.

³¹ A noter que les facteurs d'émissions DACCIIWA ont été recalculés en g/veh.km en faisant l'hypothèse d'une consommation de 8 litres/100km pour les VP et de 32 litres/100km pour les PL.

³² Explosive growth in African combustion emissions from 2005 to 2030 – Table 1 – C Liousse et al 2014 Environ. Res. Lett. 9 035003

Tableau 50 : Comparaison des facteurs d'émissions utilisées pour le calcul des émissions de particules à l'échappement (VL et PL) avec ceux de l'étude DACCIWA et de l'étude Sekou et al

g/veh.km		Facteurs d'émission utilisés	Facteurs d'émissions		
Type véhicule	Motorisation		DACCIWA ³³	Liousse et al	Sekou et al ³⁴
VL	Gasoil	5.48E-02	4.38E+00	-	2.38E+00
	Essence	2.20E-03	-	3.64E-01	4.17E-01
PL	Gasoil	1.04E-01	1.03E+01	-	8.23E+00
	Essence	-	-	-	-

Intégration d'une pollution de fond au modèle

Le NO₂ et le benzène sont des polluants principalement émis par les transports, et en particulier le trafic routier. On peut considérer que ces émissions locales seront responsables de la quasi-totalité des concentrations observées sur la ville de Dakar (à l'exception de la proximité immédiate de certains sites industriels). Il n'en est pas de même pour les poussières, pour lesquelles il existe des sources extérieures à la zone d'étude, en particulier les panaches de poussières désertiques pouvant contribuer de façon significative aux niveaux de poussières observés à Dakar. Cette pollution doit être intégrée dans le modèle pour que les résultats de celui-ci (représentant la part du transport et des autres sources) puissent être comparés aux résultats de mesures effectuées en air ambiant (et qui représentent la contribution de l'ensemble des sources). Pour évaluer cette pollution résiduelle de poussières, les données satellitaires de la plateforme CAMS issues du programme européen COPERNICUS³⁵ couvrant le Sénégal et la ville de Dakar ont été utilisées.

L'analyse de ces informations a permis d'estimer la pollution de fond en poussières (c'est-à-dire la pollution résiduelle loin des axes de circulation) à 30 µg/m³ et 80 µg/m³ en moyenne annuelle respectivement pour les particules PM2.5 et PM10. Ces résultats sont cohérents avec les observations du CGQA, qui montrent des concentrations en PM10 toujours supérieures à 80 µg/m³ en moyenne annuelle, quel que soit l'emplacement des stations.

Validation du modèle par comparaison aux mesures dans l'air ambiant

Avant d'être lancé sur l'ensemble de la zone d'étude, le modèle a été utilisé pour calculer les concentrations de polluants sur des points récepteurs correspondant à la localisation de points de mesure. Un focus a été réalisé sur le NO₂ et les poussières, qui sont deux polluants réglementés marqueurs de la contribution des émissions du transport.

Ainsi, le modèle de dispersion a tout d'abord été lancé sur la période de la campagne de mesure décrite en section 7.1 de ce document, à savoir du 9 au 25 mai 2022. Les données météorologiques correspondant à cette période ont été utilisées, et les concentrations de NO₂ calculées à l'emplacement des 20 points de mesures de NO₂ (tubes passifs). Les résultats de cette comparaison sont présentés dans le tableau et sur les deux figures ci-dessous. Ils montrent globalement une bonne cohérence, les ordres de grandeur étant bien reproduits.

³³ DACCIWA – Dynamics-aerosol-chemistry-cloud interactions in West Africa – D2.1 Emission inventories – Table 1 – 2016

³⁴ Particle and VOC emission factor measurements for anthropogenic sources in West Africa – Sekou et al – June 2018

³⁵ <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-global-reanalysis-eac4-monthly?tab=overview>

Tableau 51 : Concentrations mesurées et modélisées en NO₂ pendant la campagne de mesure de mai 2022 (en µg/m³)

Site	Nom	Mesure	Modèle
PF01	Stade Ngor	53.4	5.1
PF02	ENEA	36.3	65.3
PF03	Mairie Grand Dakar	44.4	51.3
PF04	Centre de santé	40.5	18.5
PF05	Maison presse	30.6	39.1
PF06	Eglise KMS 1	96.4	67.0
PF07	Supeco Golf	22.4	30.2
PF08	Mairie Grand Mbao	52.4	70.4
PF09	Hôtel de ville Diamniadio	29.9	30.1
PF10	Mairie Bambilor	12.9	10.4
PR11	Mairie Rufisque	39.3	43.7
PR12	Poste Thiaroye	62.3	32.4
PR13	23 BIMA	37.8	14.3
PR14	Building Maginot	45.3	32.7
PR15	Mairie Pikine Nord	40.1	32.5
PR16	Lycée Limamou Laye	22.3	33.4
PR17	Mairie Patte d'Oie	25.1	74.6
PR18	Samu Liberté 6	44.6	39.5
PR20	EDK Pikine	53.3	62.1
	Moyenne	41.5	39.6

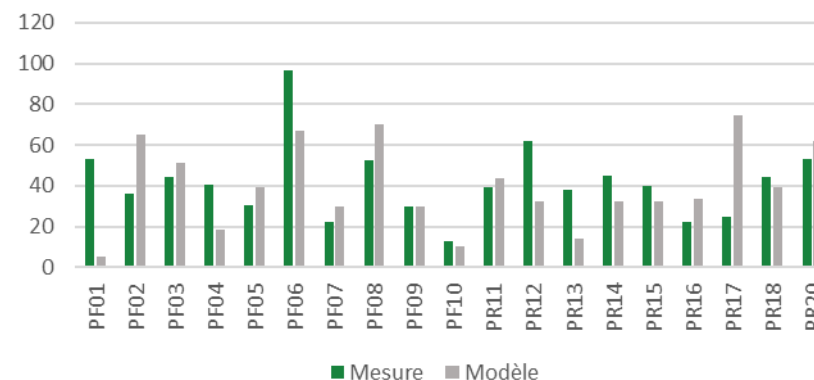


Figure 40 : Comparaison modèle/mesure pour le NO₂ (en µg/m³) au niveau des points de prélèvement de la campagne de mai 2022

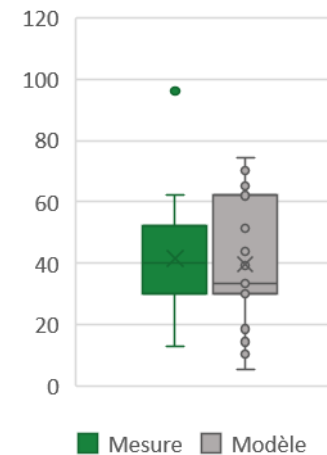


Figure 41 : Boîte à moustache modèle/mesure pour le NO₂ (en µg/m³) au niveau des points de prélèvement de la campagne de mai 2022

Concernant les poussières, il est plus délicat de comparer les résultats du modèle avec les mesures réalisées durant la campagne de mai 2022, la pollution de fond moyenne intégrée dans le modèle n'étant pas adaptée à celle de la période de mai 2022, qui a vu se produire plusieurs épisodes de poussières sahariennes. En revanche, le modèle a été lancé sur une année complète (météorologie de 2021), et les résultats comparés avec les concentrations moyennes annuelles mesurées durant les années précédentes par le réseau de stations de mesure du CGQA. Les résultats sont présentés dans le tableau et sur la figure ci-dessous. Là aussi, même s'il existe quelques différences locales, le modèle ne pouvant capter tous les phénomènes très locaux, les ordres de grandeurs sont bien représentés, ce qui sera important pour l'évaluation de l'exposition moyenne des populations et le calcul des impacts sanitaires. Ces résultats confortent également la bonne cohérence des émissions présentée en début de cette section, et soulignent la robustesse du modèle dont les résultats sont présentés dans la section suivante pour l'ensemble du domaine d'étude.

Tableau 52 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles de poussières modélisées (année 2021) avec les mesures aux stations du CGQA (période 2015-2019) (en µg/m3)

Site	Nom	PM10		PM2,5	
		Mesure	Modèle	Mesure	Modèle
CG01	Bel-Air	30.0	40.5	3.0	23.0
CG02	HLM	27.0	39.1	18.0	20.2
CG03	Cathédrale	47.0	40.8	33.0	22.4
CG04	Médina	-	47.7	20.0	32.4
CG05	Yoff	65.0	42.5	11.0	23.3

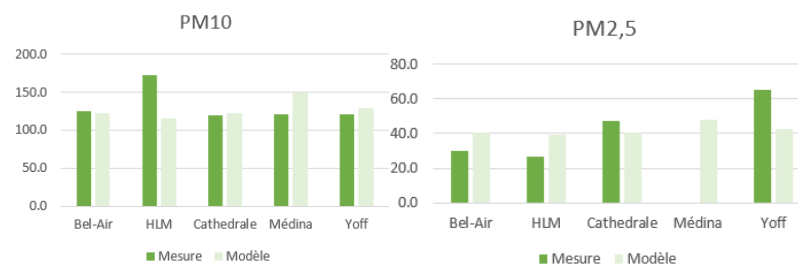


Figure 42 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles de poussières modélisées (année 2021) avec les mesures aux stations du CGQA (période 2015-2019) (en µg/m3)

7.3.2 RESULTATS SUR L'ENSEMBLE DU DOMAINE D'ETUDE

7.3.2.1 CARTOGRAPHIE A HAUTE RESOLUTION DES CONCENTRATIONS DE POLLUANT

A partir de l'intégration de l'ensemble des données d'entrée citées précédemment (émissions spatialisées, météorologie locale et topographie) et suite à la validation du modèle présentée dans la section précédente, le logiciel ADMS-Urban développé par le CERC (UK) a été utilisé pour cartographier l'état de la qualité de l'air sur l'ensemble du domaine d'étude. Les concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote NO₂, particules PM10 et PM2,5 et benzène C₆H₆ ont ainsi été calculées, à partir de calculs réalisés heure par heure sur l'ensemble de l'année 2021. La résolution spatiale est de l'ordre de la dizaine de mètres sur l'ensemble du domaine.

Les résultats sont présentés sur les cartographies ci-dessous. Ils correspondent à la contribution du trafic routier (le trafic ferroviaire pouvant être négligé). Pour le NO₂ et le benzène, ces cartes sont également représentatives de la contribution de l'ensemble des sources, la contribution des autres sources étant très faibles à l'échelle de la ville. Pour les poussières et comme on l'a vu précédemment, la contribution des panaches de poussières désertiques ne peut être négligée. Des cartes intégrant cette pollution « de fond » ont donc été ajoutées, afin de s'approcher des concentrations moyennes réelles en poussières.

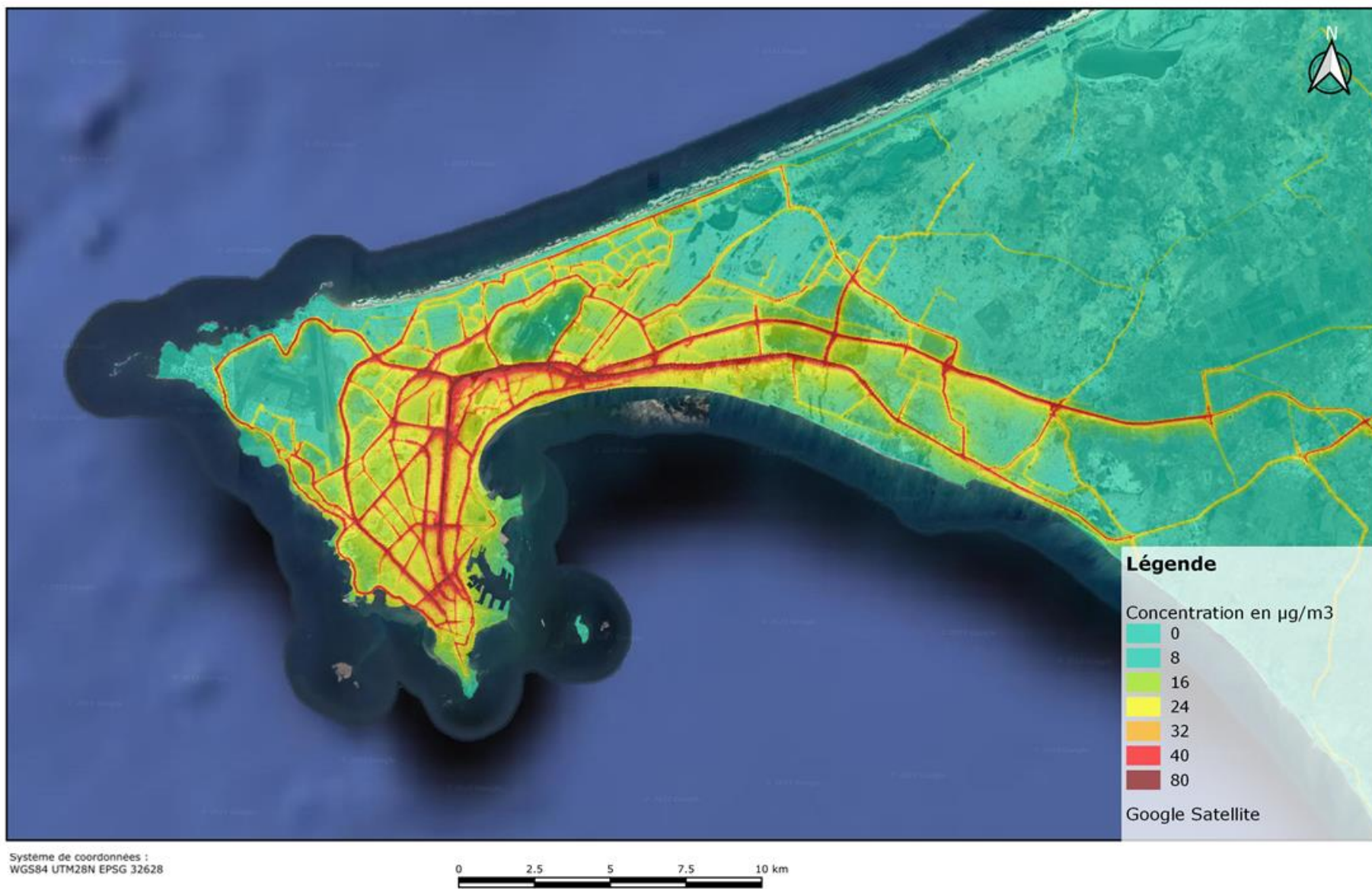
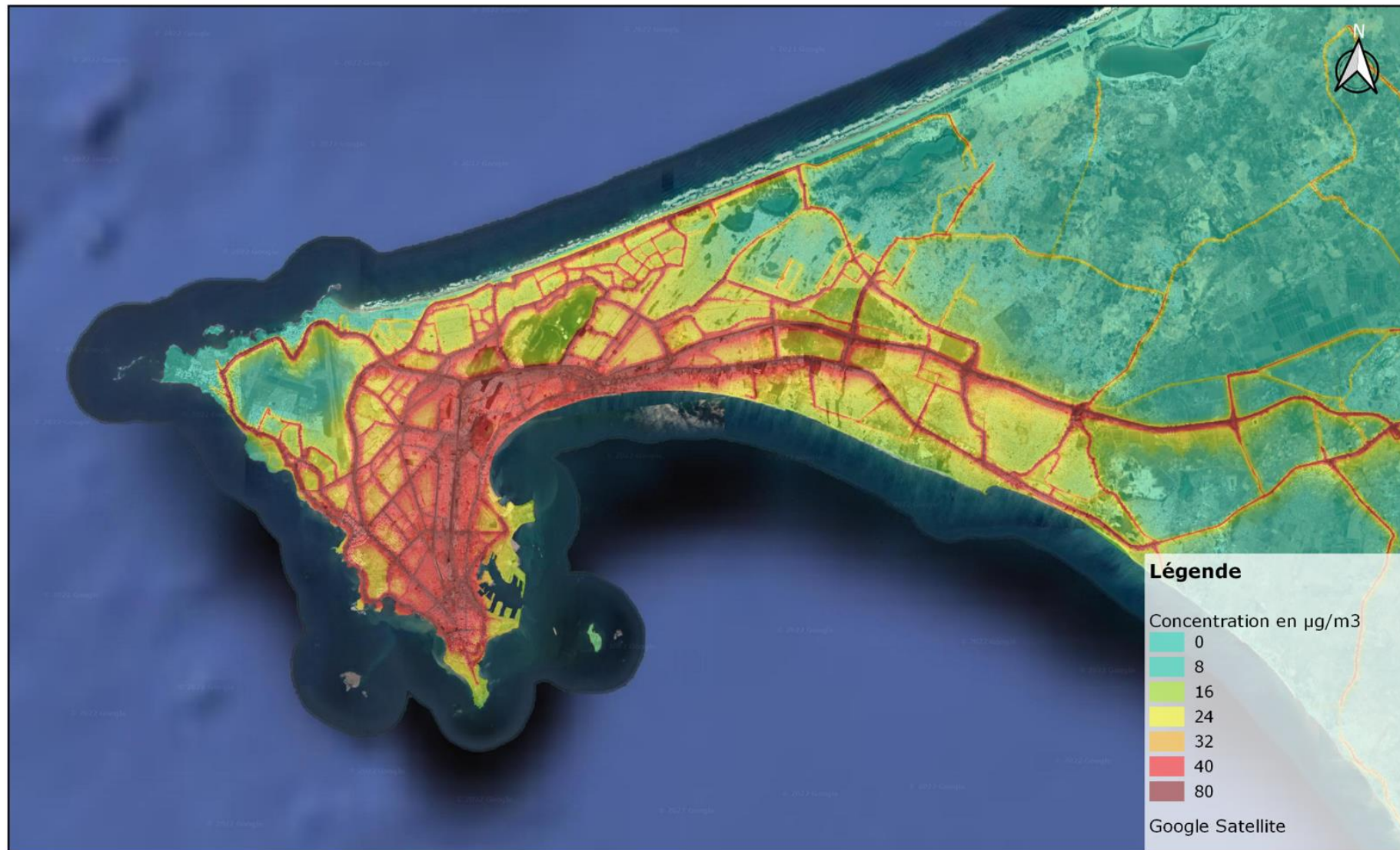


Figure 43 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles de NO_2 pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar



Système de coordonnées :
WGS84 UTM28N EPSG 32628

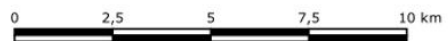


Figure 44 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles de PM10 pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar



Système de coordonnées :
WGS84 UTM28N EPSG 32628

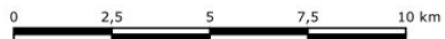
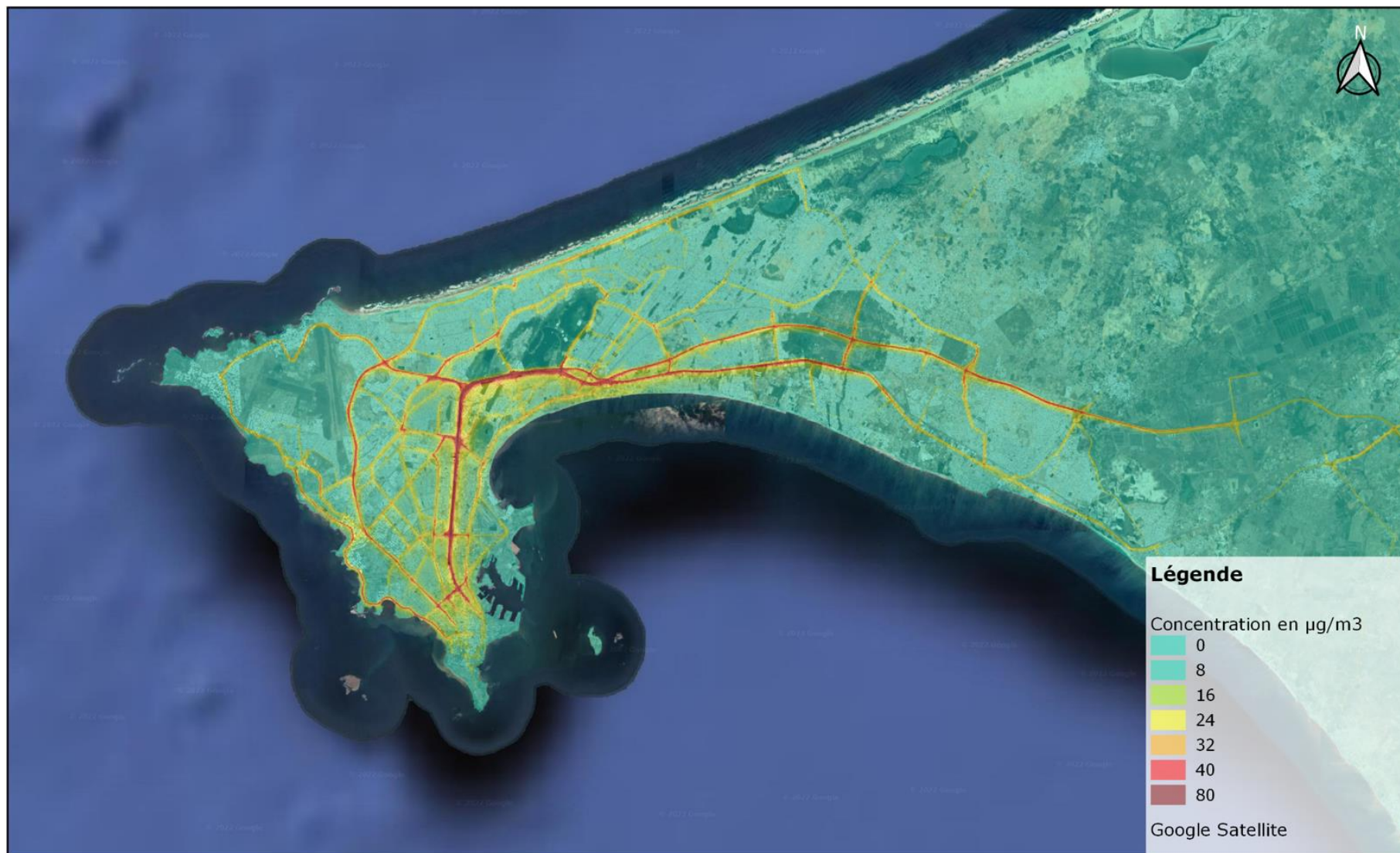


Figure 45 : Contribution de l'ensemble des sources aux concentrations moyennes annuelles de PM10 pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar



Système de coordonnées :
WGS84 UTM28N EPSG 32628

0 2,5 5 7,5 10 km

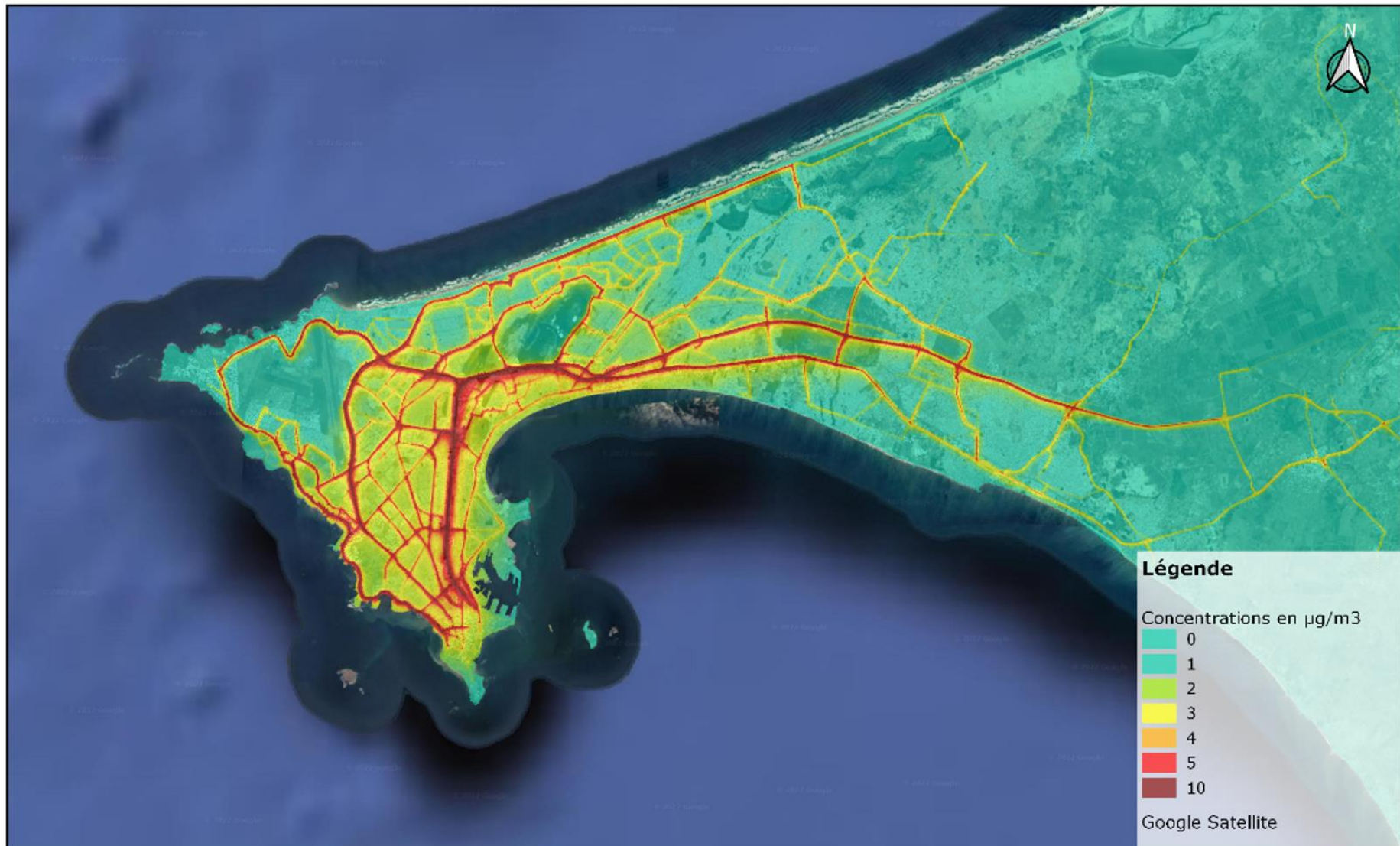
Figure 46 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles de PM2.5 pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar



Système de coordonnées :
WGS84 UTM28N EPSG 32628

0 2,5 5 7,5 10 km

Figure 47 : Contribution de l'ensemble des sources aux concentrations moyennes annuelles de $\text{PM}_{2.5}$ pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar



Système de coordonnées :
WGS84 UTM28N EPSG 32628

0 2,5 5 7,5 10 km

Figure 48 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles de benzène pour l'année 2021 sur l'ensemble de la ville de Dakar

7.3.2.2 RESULTATS NUMERIQUES AUX POINTS RECEPTEURS

En complément des cartes présentées précédemment, les tableaux suivants donnent la contribution du trafic routier modélisée sur l'année 2021 au niveau de différents points récepteurs. Ces points récepteurs correspondent successivement à des zones relativement éloignées du trafic routier, à des zones urbaines et à des situations de proximité directe avec le trafic.

Tableau 53 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles 2021 en situation de fond (en µg/m³)

Site	Nom	NO ₂	PM10	PM2,5	Benzène
RB01	Aéroport LSS	4.5	7.9	2.0	0.5
RB02	Golf technopole	9.5	17.3	4.4	1.1
RB03	Gendarmerie Rufisque	3.6	6.4	1.6	0.3
RB04	Touly	1.8	3.1	0.8	0.1
RB05	Keur Lamane	1.3	2.4	0.6	0.1
Moyenne		4.1	7.4	1.9	0.4

Sur les points récepteurs situés en zone éloignées du trafic, on observe une surconcentration liée au transport routier :

- de l'ordre de 4 µg/m³ en moyenne pour le dioxyde d'azote ;
- d'un peu plus de 7 µg/m³ en moyenne pour les particules PM10 ;
- de l'ordre de 2 µg/m³ en moyenne pour les particules PM2.5 ;
- de l'ordre de 0,5 µg/m³ en moyenne pour le benzène.

Tableau 54 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles 2021 au niveau du réseau de stations du CGQA - zone urbaine (en µg/m³)

Site	Nom	NO ₂	PM10	PM2,5	Benzène
CG01	Cathédrale	22.4	42.6	10.8	2.7
CG02	Bel-Air	23.0	41.7	10.5	2.1
CG03	Medina	32.4	69.7	17.7	4.7
CG04	HLM	20.2	36.0	9.1	2.2
CG05	Yoff	23.3	49.3	12.5	3.5
Moyenne		24.2	47.9	12.1	3.0

Au niveau du réseau de stations de mesures géré par le CGQA, au cœur de Dakar, la contribution du trafic est plus élevée pour l'ensemble des 4 polluants. Elle est de 3 µg/m³ en moyenne pour le benzène, de l'ordre de 24 µg/m³ pour le NO₂ et jusqu'à près de 48 µg/m³ pour les PM10.

Tableau 55 : Contribution du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles 2021 au niveau des points récepteurs de la campagne de mai 2022 - Proximité directe des axes routiers (en µg/m³)

Site	Nom	NO ₂	PM10	PM2,5	Benzène
PF01	Stade Ngor	14.6	30.6	7.8	1.9
PF02	ENEA	52.8	117.2	29.9	7.5
PF03	Mairie Grand Dakar	57.2	112.0	28.6	5.7
PF04	Centre de santé	36.4	80.8	20.5	5.3
PF05	Maison presse	36.8	94.4	23.9	7.2
PF06	Eglise KMS 1	52.0	104.2	26.5	4.4
PF07	Supeco Golf	21.6	41.1	10.4	2.4
PF08	Mairie Grand Mbao	66.6	149.9	38.0	5.3
PF09	Hôtel de ville Diamniadio	27.8	55.9	14.1	3.4
PF10	Mairie Bambilor	10.5	19.3	4.9	1.2
PR11	Mairie Rufisque	41.4	74.5	18.9	3.0
PR12	Poste Thiaroye	39.7	82.4	20.9	4.1
PR13	23 BIMA	11.3	20.3	5.1	1.1
PR14	Building Maginot	34.0	64.8	16.5	4.2
PR15	Mairie Pikine Nord	42.0	92.5	23.3	4.7
PR16	Lycée Limamou Laye	25.8	51.1	12.9	3.0
PR17	Mairie Patte d'Oie	79.2	219.3	55.8	12.4
PR18	Samu Liberté 6	33.0	66.7	16.9	4.3
PR19	Ecole Papa G Fall	42.9	87.9	22.3	5.4
PR20	EDK Pikine	55.8	139.9	35.4	7.7
Moyenne		39.1	85.2	21.6	4.7

Sur les points récepteurs situés en proximité directe des axes routiers (points de la campagne de mesure de mai 2022), on note des contributions du trafic routier aux concentrations moyennes annuelles 2021 logiquement plus élevées encore, avec :

- Pour le dioxyde d'azote, une contribution moyenne liée à la circulation routière qui atteint à elle seule la valeur limite annuelle fixée par la réglementation sénégalaise, valeur fixée à 40,0 µg/m³.
- Une contribution moyenne qui dépasse les 80 µg/m³ pour les particules PM10, valeur correspondant à la valeur limite réglementaire au Sénégal.

Globalement, on retiendra également que la seule contribution du trafic routier conduit à des dépassements significatifs des valeurs recommandées par l'OMS en 2021, sur toutes les zones urbaines du domaine d'étude. On rappellera également que la contribution du trafic routier aux poussières dans l'air ambiant est principalement due à la remise en suspension des poussières lors du passage des véhicules.

7.3.4 EXPOSITION DE LA POPULATION

A partir des données établies pour le développement du Modèle Multimodal de Dakar du CETUD (zonage des données de population de Dakar de l'année 2022 à l'échelle du « quartier » et informations géographiques sur les habitations et le bâti de source ANAT et OpenStreet Map), un travail de recouplement des données de population avec les cartographies de la pollution a été réalisé sur chacun des 4 polluants utilisés pour l'évaluation des risques sanitaires (NO₂, PM10, PM2.5 et benzène).

Ce travail a été réalisé en plusieurs étapes :

- Affectation de la population issue du zonage par « quartier » vers les bâtiments de type « habitation » au prorata de la surface de bâtiments dans la zone ;
- Création d'une grille régulière à maille constante de 50m x 50m en adéquation avec les résultats cartographiques de pollution ;
- Calcul des populations impactées dans chaque maille, pour chaque unité de concentration.

Un exemple de croisement des niveaux de concentration avec le bâti correspondant à des habitations est présenté sur la figure ci-dessous pour une zone de Rufisque située à proximité de l'axe N1.

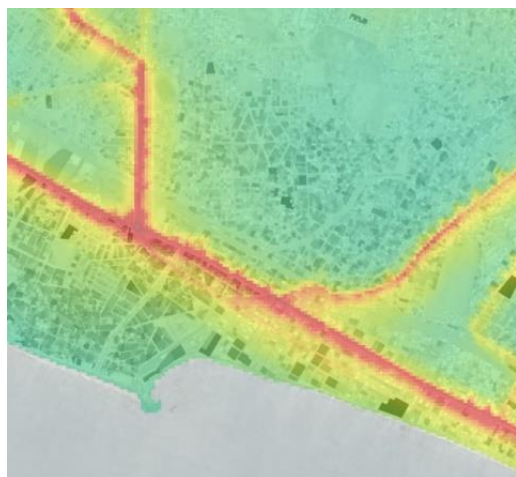


Figure 49 : Zoom sur le quartier de Rufisque – Exemple de recouplement bâtiments d'habitations et contribution du trafic routier aux concentrations en dioxyde d'azote

Les résultats d'exposition de la population à la pollution liée au transport routier sont détaillés dans la section suivante relative à l'évaluation des impacts sanitaires. On retiendra cependant de ces calculs de modélisation que :

- **Environ 4%** de la population se situe dans une zone en dépassement de la valeur limite fixée à 40 µg/m³ en moyenne annuelle par la réglementation sénégalaise. Dans une plus grande proportion, 72% de la population se situe dans des zones en dépassement de la valeur guide OMS 2021 fixée à 10 µg/m³ en moyenne annuelle. Ces concentrations **de NO₂** sont directement liées à la contribution du trafic routier.
- En ce qui concerne les particules PM10, avec une pollution de fond importée sur la zone d'étude estimée à environ 80 µg/m³ en moyenne annuelle, **la totalité de la population dakaroise est exposée à des concentrations moyennes dépassant la valeur limite réglementaire du Sénégal**. La contribution du trafic routier conduit à une **surconcentration de 20 µg/m³ pour environ deux tiers de la population, et de 40 µg/m³ pour 28% de cette même population**.
- Pour les particules plus fines **PM2.5** (non réglementées au Sénégal), avec une pollution de fond importée sur la zone d'étude estimée à environ 30 µg/m³ en moyenne annuelle, **la totalité de la population dakaroise est exposée à la valeur limite OMS 2021 fixée à 5 µg/m³**. Environ 71% de la population dakaroise est exposée à une surconcentration de plus de 5 µg/m³ en moyenne annuelle, soit l'équivalent de la valeur fixée par l'OMS, en lien avec les seules émissions du trafic routier.
- Enfin, pour le benzène et sans valeur limite disponible dans la réglementation sénégalaise, ni de valeur guide OMS, on retiendra qu'environ 2% de la population dakaroise est exposée à une valeur supérieure à la valeur limite européenne de 5 µg/m³ en moyenne annuelle. Ces valeurs sont directement liées à la contribution du trafic routier.

7.4 EFFETS SANITAIRES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

7.4.1 INTRODUCTION

L'objectif de cette section est d'évaluer les impacts sanitaires et les coûts associés dus à la pollution atmosphérique générée par les transports routiers (PATR) à Dakar, Sénégal.

On utilise la **méthode générale** développée par l'OMS avec des **données** d'entrées les plus **locales** possibles. Cette combinaison donne des résultats spécifiques à la situation de Dakar et comparables à d'autres évaluations utilisant la même méthode.

Les effets sur la santé sont consécutifs des expositions à **long terme** car les données de concentrations ambiantes sont des moyennes annuelles.

Les impacts sont définis comme étant le nombre de cas attribuable à la pollution ambiante pour un effet donné.

7.4.2 MATERIEL ET METHODOLOGIE

7.4.2.1 METHODES D'ÉVALUATION DES IMPACTS DUES A LA PATR

Pour les effets de la pollution atmosphériques en termes de **mortalité**, les impacts peuvent être estimés selon trois approches différentes :

- Estimation du nombre de décès
- Estimation des années de vies perdues (YLL)
- Estimations des années de vie perdues en bonne santé (DALY)

Pour la **morbidité** c'est l'approche « estimation du nombre de cas » qui est utilisée.

7.4.2.2 APPROCHE « NOMBRE DE DECES »

Les impacts en nombre de décès sont estimés selon la méthode dite évaluation des impacts sanitaires (EIS, en anglais : HIA pour Health Impacts Assessment). Elle est fondée sur les résultats d'études épidémiologiques, produites depuis de nombreuses années, desquels ont dérivent des **Fonctions Expositions Risques (FER)**. Ces FER sont les risques relatifs divisés par la concentration d'exposition. Ces fonctions peuvent être spécifiques, au plan national, ou génériques lorsqu'elles proviennent d'une méta analyse d'études réalisées dans différents pays.

Les FER utilisées en Europe³⁶, issues d'études européennes ou nord-américaines, ne sont pas forcément bien adaptées pour les pays où les concentrations atmosphériques particulières sont élevées et où l'on manque de preuves épidémiologiques directes³⁷. A Dakar on sait que la pollution particulaire dépasse la valeur limite de l'OMS de 20 µg/m³ toute l'année et la valeur de 80 µg/m³ pendant au moins 8 mois de l'année³⁸.

Pour ces situations, l'OMS a développé des **fonctions d'exposition-risques intégrées** (FIER), qui combinent les preuves issues d'études sur : la pollution de l'air ambiant, la fumée de tabac environnementale, la pollution de l'air intérieur et le tabagisme actif, pour estimer le risque sur toute la gamme mondiale d'exposition³⁹. C'est la meilleure approche disponible même si les FIER sont plus incertaines que les FER et ne sont pas disponibles pour tous les effets possibles de la pollution atmosphérique. Elles sont utilisées⁴⁰ et actualisées⁴¹ par l'OMS pour estimer la charge mondiale de mortalité et morbidité attribuable à l'air ambiant. Elles seront utilisées ici en lieu et place des FER classiques lorsque ce sera possible.

³⁶ WHO, 2013. Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project

³⁷ WHO, 2013 Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project

³⁸ Awa Ndong, 2019. Pollution de l'air extérieur et intérieur à Dakar (Sénégal) : caractérisation de la pollution, impact toxicologique et évaluation épidémiologique des effets sanitaires. Thèse de doctorat en Toxicologie. Université du Littoral Côte d'Opale; Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Département de médecine et de pharmacie.

³⁹ Lim SS, Vos T, Flaxman AD, et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a

systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. Lancet 2012;380(9859):2224-60.

⁴⁰ WHO, 2014. Methods for burden of disease attributable to household air pollution for the year 2012.

⁴¹ Burnett RT, Pope A, Ezzati M, Olives C, Lim SS, Mehta S, et al. Integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. Environ Health Perspect. 2014;122(4):397-403. doi:10.1289/ehp.1307049

Pour évaluer les impacts, l'OMS met à la disposition des utilisateurs un logiciel en accès libre sur internet : AirQ+⁴². Il sera utilisé ici pour réaliser les calculs d'impacts.

L'équation générale pour estimer les impacts est la suivante :

$$NC = n \times I \times \frac{RR_{aj}-1}{RR_{aj}}$$

Avec ;

- NC = nombre de cas attribuables
- n = nombre de personnes exposées
- I = incidence en population générale de l'effet évalué
- RR_{aj} = Risque Relatif ajusté sur la concentration atmosphérique
- Où :
- RR_{aj} = $e^{\beta(X-X_0)}$
- β = log(RR)/10
- X = Concentration air ambiant
- X₀ = Concentration de référence

7.4.2.3 APPROCHE « ANNEES DE VIES PERDUES »

L'approche année de vie perdue a été mise au point pour palier une incertitude de l'approche en nombre de cas. Si l'on considère que le décès d'une personne de 30 ans n'a pas la même valeur « économique » que celui d'une personne de 80 ans, ce qui reste très discuté, alors il ne suffit plus de compter le nombre de décès dans une catégorie d'âge mais il faut dénombrer le nombre d'année de vie perdue au moment du décès. Pour cela, on utilise l'espérance de vie des personnes décéder l'année de son décès. Par exemple, si une personne de 30 ans dont l'espérance de vie est de 80 ans décède, on comptera 50 années de vie perdues. Dans le cas d'une personne de 80 ans dont l'espérance de vie est de 84 ans, on comptera 4 années de vie perdues.

Pour estimer l'espérance de vie à chaque âge une année donnée, on a besoin des tables de mortalité aussi appelées par les démographes table de survie. Il s'en suit des calculs relativement complexes dont on ne donnera pas le détail ici. Notons simplement que les informations nécessaires sont plus compliquées à obtenir.

D'autre part bien qu'apparemment plus précise que l'approche précédente, cette méthode reste très incertaine car les FER ne sont pas détaillées pour chaque âge. Par exemple, la FER utilisée pour la mortalité toutes causes s'applique à toute la population de plus de 30 ans. Pourtant, les effets de la pollution atmosphérique seront plus forts chez une personne d 80 ans que chez une personne de 30 ans. De même ces FER ne tiennent pas compte de l'état de santé des personnes. Pourtant dans la réalité une personne insuffisante cardiaque ou respiratoire aura plus de risques qu'une personne en bonne santé. L'approche par les années de vies perdues comporte donc un niveau d'incertitude au moins égal à l'approche par le nombre de cas bruts.

Au total, si la table de survie du Sénégal pour les années récentes est disponible on peut calculer les années de vie perdues et les comparer, dans l'esprit d'une analyse de sensibilité, au nombre décès prématurés estimés selon la méthode précédente.

7.4.2.4 APPROCHE PAR LES DALY

L'OMS a estimé un nombre d'année de vie perdue en bonne santé pour chaque cause de décès. Ce sont les DALYs (Disability Adjusted Life Year), années de vies perdues sans incapacité.

7.4.2.5 APPROCHE SPECIFIQUE POUR LE BENZENE

Il n'existe pas actuellement de Fonction exposition risque pour le benzène. Dans ce cas l'approche classique de l'évaluation des risques est utilisable. En lieu et place des FER on utilise des valeurs toxicologiques de références (VTR) qui sont dans le cas des effets cancérigènes des excès de risques unitaires (généralement désigné en anglais sous le terme "slope factor" ou "unit risk"). Plusieurs organismes proposent des VTR pour le benzène (OMS⁴³, US-EPA⁴⁴, ANSES⁴⁵, etc.).

⁴² <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq---software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>

⁴³ OMS : Organisation Mondiale de la Santé

⁴⁴ US-EPA : United States of America – Environmental Protection Agency

⁴⁵ ANSES : Agence Nationale (France) de Sécurité de l'Environnement et du Travail

Les impacts pour une exposition vie entière (70 ans) sont calculés selon l'équation suivante :

$$IP = Expo \times ERU \times nb$$

Avec :

- IP = impact (exprimé en nombre de cas)
- Expo = valeur de la concentration atmosphérique d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- ERU = excès de risque unitaire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹
- nb = nombre de personnes exposées à la concentration d'intérêt (-)

7.4.2.6 EFFETS EVALUABLES

Les effets à long terme, évaluables avec la méthode de l'OMS, sont présentés dans le tableau suivant pour les trois principaux polluants de l'air ambiant : les PM2.5, les PM10 et le NO₂.

Tableau 56 Effets à long terme évaluables selon la méthode de l'OMS

Type	Effets	CIM* 10	Age concerné	PM2.5	PM10	NO ₂
Mortalité	Toutes causes naturelles (non accidentelles)		> 30 ans	OUI		OUI
	Infection aiguë respiratoire basse**	J10-J22	< 5 ans	OUI		
	Broncho Pneumopathie Chronique Obstructive**	HJ40-J44	> 30 ans	OUI		
	Cardiopathies ischémiques**	I20-I25	> 25ans	OUI		
	Cancer du poumon	C33-C34, D02.1-D02.2, D38.1	> 30 ans	OUI		
	Accident Vasculaire cérébral**	I60-I63, I65-I67, I69.0-I69.3	> 25ans	OUI		
	post néonatale, toutes causes**		< 1 an		OUI	
Morbidité	Prévalence de la bronchite chez l'enfant**		< 6 ans		OUI	
	Prévalence symptômes de la bronchite chez l'enfant asthmatique**		5-14 ans			OUI
	Incidence bronchite chronique l'adulte**		> 25 ans		OUI	

* Classification International des Maladies, actualisation 10

** Effet évalué au moyen des fonctions intégrées expositions risques (FIER), pour les autres on utilise des FER classiques

Les impacts évalués pour chaque effet ne sont pas tous additionnables. Par exemple, l'effet « mortalité toutes causes non accidentelles chez les personnes de plus de 30 ans » inclut toutes les autres causes de mortalité, sauf les affections aiguës respiratoires basses chez l'enfant de moins de 5 ans et la mortalité post néonatale chez les moins de 1 an.

Une fonction intégrée exposition-risque (FIER, en anglais IERF Integrated Exposure–Response Function) est une fonction qui intègre les informations sur les RR provenant d'études sur la pollution de l'air ambiant, le combustible de cuisson domestique solide, le tabagisme passif et le tabagisme actif (Burnett et al., 2014). Les fonctions d'IER sont utilisées pour estimer la morbidité attribuable à l'exposition à long terme aux PM2,5 dans l'air ambiant. Les fonctions actuelles de l'IER n'ont été développées que pour des causes spécifiques de mortalité chez l'adulte : cardiopathie ischémique, accident vasculaire cérébral (AVC), Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), et pour la mortalité par infections aiguës des voies respiratoires inférieures chez les enfants de moins de 5 ans.

Concernant le **benzène**, L'effet évaluable est l'augmentation des cancers du sang (Leucémie). L'ERU utilisé dans cette étude est celui de l'OMS $6.10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$. Comme il n'y a pas d'intervalle de confiance autour de l'ERU, l'analyse de sensibilité sera faite en utilisant l'ERU du benzène produit par l'ANSES = $2,6.10^{-5} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.

7.4.2.7 POPULATION A DAKAR

Les effets évaluables de la pollution atmosphérique sont spécifiques par tranches d'âge. Les données démographiques⁴⁶ les plus récentes (années 2019) issues de l'annuaire des statistiques sanitaires et sociales du Sénégal ont été utilisées pour estimer la répartition des différentes catégories d'âge d'intérêt. Cette répartition de la population dakaroise est présentée au tableau suivant. Ces données seront utilisées pour l'évaluation des impacts.

Tableau 57 : Répartition de la population dakaroise par tranche d'âge d'intérêt (2019)

Tranche d'âge	Part de la population
Moins de 12 mois	2,85 %
Moins de 5 ans	14,2 %
Plus de 25 ans	49,9 %
Plus de 30 ans	42,0 %
Total	100 %

7.4.2.8 INCIDENCE EN POPULATION GENERALE

Le deuxième terme de l'équation général du nombre de cas est l'incidence en population générale de l'effet évalué. Les effets évalués sont ceux présentés au Tableau 56 Effets à long terme évaluables selon la méthode de l'OMS.

Ces données ont été recherchées dans les publications scientifiques et auprès des autorités sanitaires du Sénégal. Plusieurs documents émanant d'autorités publiques sénégalaises ont été fournis mais les informations contenues se sont avérées incomplètes et imprécises les rendant inexploitable pour notre étude. Notamment, seuls les nombres de cas étaient fournis, généralement sans répartition par tranche d'âge, sans la population correspondante (dénominateur de l'incidence) et dans une classification qui n'est pas directement comparable à la classification internationale des maladies.

⁴⁶ Elles ont été transmises par le CETUD sous forme de fichier Excel nommé « données de morbidités et mortalité.xlsx ».

7.4.2.9 MORTALITE

Les taux de mortalités publiés par l'OMS⁴⁷ ne sont pas exploitables directement car ils ne sont pas stratifiés par tranche d'âge (taux de mortalité par causes tout âge confondu). Seules les données diffusées par l'IHME⁴⁸ (Institute for Health Metrics and Evaluation) sont stratifiées par tranche d'âge. La dernière année disponible pour le

Sénégal au moment de la réalisation de cette étude est 2019. Les taux de mortalité par causes sont présentés dans le tableau suivant. Ils ne sont pas spécifiques à la région de Dakar mais concernent l'ensemble du Sénégal. On considère donc qu'ils s'appliquent à la population dakaroise comme à l'ensemble de la population sénégalaise.

Effets	CIM 10	Age concerné	Sénégal (IHME 2019) Taux de mortalité		
			Valeur centrale	IC _{sup.}	IC _{inf.}
Mortalité toutes causes hors accidents		> 30 ans	0,00952	0,01122	0,00851
Mortalité infection respiratoire basse	J10-J22	< 5 ans	0,00110	0,00158	0,00070
Mortalité BPCO	HJ40-J44	> 30 ans	0,00026	0,00032	0,00021
Mortalité cardiopathies ischémiques	I20-I25	> 25ans	0,00120	0,00146	0,00095
Mortalité cancer du poumon	C33-C34, D02.1-D02.2, D38.1	> 30 ans	0,00015	0,00020	0,00012
Mortalité accident vasculaire cérébral	I60-I63, I65-I67, I69.0-I69.3	> 25ans	0,00132	0,00162	0,00106
Mortalité post néonatale toutes causes		28 à 364j	0,01340	0,02090	0,00835

Tableau 58 : Taux de mortalité par causes au Sénégal en 2019

CIM 10 : Classification Internationale des maladies 10^{ème} révision

IHME : Institute for Health Metrics and Evaluation

BPCO : Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

⁴⁷ Global Health Estimates 2019: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2019. Geneva, World Health Organization; 2020. Disponible à : [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/gho-documents/global-health-](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/ghe2019_death-rates-countryfa5d6a0b-0f85-449f-ba5f-ea6fcaee34c_6f5f17c3-3fae-4660-ad72-56e353b43c55.xlsx?sfvrsn=91ccbd13_9)

[estimates/ghe2019_death-rates-countryfa5d6a0b-0f85-449f-ba5f-ea6fcaee34c_6f5f17c3-3fae-4660-ad72-56e353b43c55.xlsx?sfvrsn=91ccbd13_9](https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/?params=gbd-api-2019-public/b486d3143aa9f1cc4c240b62d6b6b20b)

⁴⁸ IHME : <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/?params=gbd-api-2019-public/b486d3143aa9f1cc4c240b62d6b6b20b>

7.4.2.10 MORBIDITE

Aucune donnée concernant les trois catégories de morbidités évaluables à long terme : prévalence de la bronchite chez l'enfant, prévalence des symptômes de la bronchite chez l'enfant asthmatique, et incidence de la bronchite chronique chez l'adulte, n'a été retrouvée ; tant auprès de l'OMS qu'auprès des autorités publiques sénégalaises.

Dans ce cas, l'OCDE⁴⁹ propose tout simplement d'exclure le coût de la morbidité dans son évaluation économique dédiée aux pays du continent africain. D'autres proposent d'estimer uniquement les coûts de la mortalité en les majorant de 10 % pour tenir compte de la morbidité. En effet, dans les études économiques disponibles à ce jour, en Europe et aux USA, les coûts de la morbidité sont d'environ 8 % du coût total de la pollution atmosphériques et ceux de la mortalité prématurée de 92 %.

Pour cette étude nous adoptons la position de l'OCDE et ne tiendrons pas compte de la morbidité.

⁴⁹ OECD, 2016. The cost of air pollution in Africa. Working Paper No. 333

7.4.2.11 RISQUES RELATIFS ET FER UTILISES

Les fonctions expositions risques utilisées sont identiques à celles utilisées par le logiciel AIQ+ de l'OMS. Elles sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 59 : FER (RR pour 10 µg/m3) utilisées pour évaluer les impacts

PM2.5	FER	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes hors accidentelles >30 ans	1,062	1,040	1,083
Mortalité par cancer du poumon > 30 ans	1,090	1,040	1,140
Mortalité par BPCO >30 ans	FIER WHO 2016 (les fonctions intégrées varient selon le niveau de concentrations et selon la tranche d'âge)		
Mortalité par infection aiguës respiratoire basse <5ans			
Mortalité par cancer du poumon > 25 ans			
Mortalité par cardiopathies ischémiques > 25 ans			
Mortalité par Accident Vasculaire Cérébral > 25 ans			
PM10			
Mortalité par post néonatale, toutes causes de 28 à 364j	1,04	1,02	1,07
NO₂			
Mortalité toutes causes hors accidentelles > 30 ans	1,041	1,019	1,064

PM10 = Particules de diamètre aérodynamique < 10 µm , PM2.5 = Particules de diamètre aérodynamique < 2.5 µm, NO₂ =dioxyde d'azote

FER = fonction exposition risque, FIER = Fonction Intégrée Exposition Risque.

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

BPCO = Broncho-pneumopathie chronique obstructive

7.4.2.12 TABLE DE MORTALITE

La plus récente table de mortalité, stratifiée par tranche d'âge, disponible pour le Sénégal est celle de l'OMS⁵⁰ et concerne l'année 2019. A partir des taux de mortalité par tranche d'âge, on peut calculer le nombre de décès si l'on connaît la population dans chaque tranche d'âge. Cette étude s'intéresse à la région de Dakar, on a donc utilisé les données de populations connues pour Dakar et les taux de mortalité spécifiques par tranches d'âge de l'OMS pour le Sénégal en 2019. Ces données serviront pour estimer les impacts en nombres d'années de vie perdues.

Tableau 60 : Table de mortalité du Sénégal (IHME 2019)

Tranches d'âges (de / à)		Population (F+M) Dakar 2018 (ANSD)	Taux de mortalité par tranche d'âge (IHME 2019)	Nombre de décès totaux par an
0 an	1 an	127 341	0,039	4 945
2 ans	4 ans	404 621	0,003	1 314
5 ans	9 ans	378 964	0,0008	305
10 ans	14 ans	346 173	0,0006	208
15 ans	19 ans	315 068	0,001	314
20 ans	24 ans	315 533	0,003	947
25 ans	29 ans	349 995	0,002	591
30 ans	34 ans	317 794	0,002	684
35 ans	39 ans	258 695	0,003	740

40 ans	44 ans	212 310	0,004	878
45 ans	49 ans	157 699	0,006	903
50 ans	54 ans	126 288	0,009	1 092
55 ans	59 ans	107 033	0,013	1 356
60 ans	64 ans	82 802	0,020	1 660
65 ans	69 ans	55 782	0,030	1 653
70 ans	74 ans	36 701	0,047	1 708
75 ans	79 ans	21 299	0,070	1 486
80 ans	84 ans	16 225	0,137	2 229

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie : « la population du Sénégal en 2018 », tableau n°5 page 10.

IHME : Institute for Health Metrics and Evaluation, <https://www.healthdata.org/>

⁵⁰ <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/gho-ghe-life-tables-by-country>

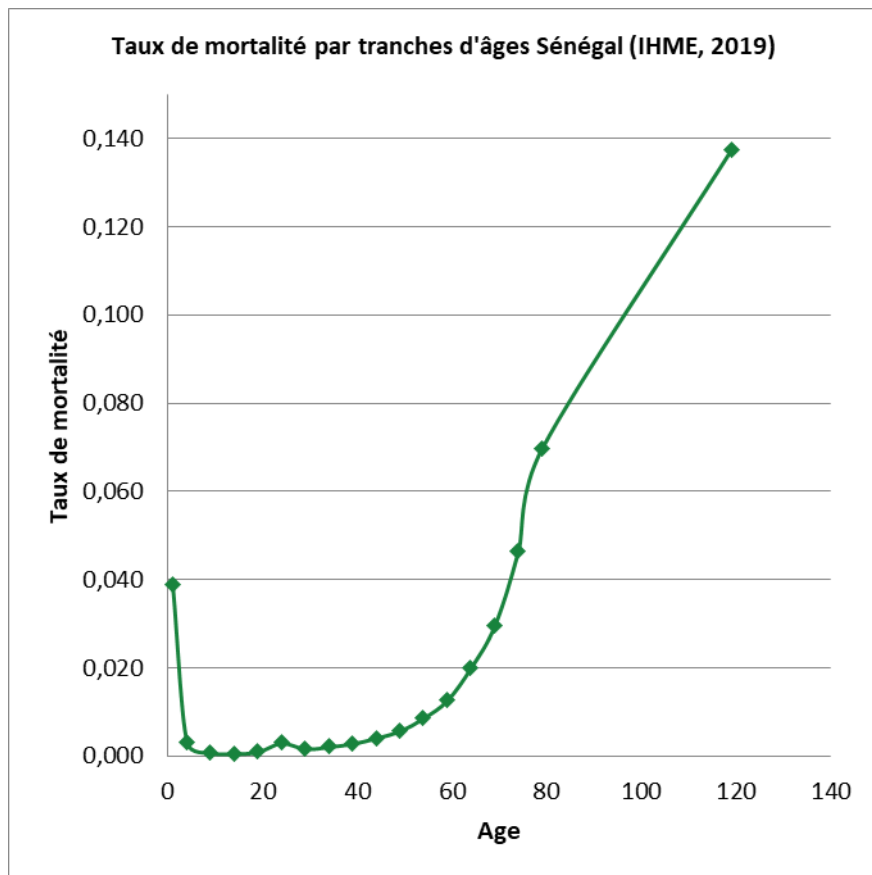


Figure 50 : Taux de mortalité selon l'âge (Sénégal 2019)

7.4.2.13 CONCENTRATION DE REFERENCE

C'est la valeur de concentration en dessous de laquelle on choisit de ne pas quantifier les impacts de la pollution de l'air ambiant **toutes sources d'émissions confondues**. Pour les PM2.5 et les PM10, la concentration de référence choisie et préconisée par l'OMS pour l'analyse à long terme est de 10 µg/m³. Elle représente la limite inférieure

de la plage dans laquelle des effets significatifs sur la survie ont été observés dans les études épidémiologiques. Pour le NO₂, l'OMS recommande la valeur de 20 µg/m³.

Dans le cas des fonctions intégrées expositions risques (FIER) le niveau de références est 2,4 µg/m³ pour les PM2.5 (il n'y a pas de FIER pour les autres polluants).

Lorsque l'on évalue les impacts d'une source spécifique de pollution atmosphérique, ici le **trafic routier** à Dakar, la concentration de référence **est de 0 µg/m³** pour tous les polluants.

7.4.2.14 DALYS

Comme pour les taux de mortalité par cause et âge spécifique, l'IHME fournit les estimations en nombre de DALY par cause de mortalité. Elles sont présentées dans le tableau suivant.

Causes	DALY/cas
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans	39
Mortalité infection aigüe respiratoires inférieures (IRB) enfant de <5ans	88
Mortalité broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) > 30ans	31
Mortalité cancers du poumon > 30 ans	24
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	21
Mortalité accident vasculaire cérébral (AVC) adulte > 25 ans	24
Mortalité post néonatal (de 28j à 364j) toutes causes hors accidents	92

7.4.3 RESULTATS

7.4.3.1 POPULATION EXPOSEE A LA POLLUTION DE L'AIR AMBIANT

Le nombre de personnes exposées pour chaque niveau de concentration dans l'air ambiant (**toutes sources d'émission confondues**) est fourni par les résultats de la modélisation atmosphérique présentés au §7.3.3.

Les résultats, agrégés par tranches de concentrations moyennes annuelles, sont présentés dans le tableau suivant.

Les expositions au **NO₂** (dioxyde d'azote) sont relativement basses avec près de 30 % de la population de Dakar exposée à moins de 10 µg/m³, 40 % entre 10 et 20 µg/m³, 7 % entre 20 et 40 µg/m³, et 4 % exposé à plus de 40 µg/m³.

Les expositions au **PM10** sont à l'inverse très élevées, avec 0 % de la population à moins de 80 µg/m³ ; pratiquement les trois quarts de la population exposé entre 80 et 130 µg/m³, et des valeurs maximales supérieures à 400 µg/m³.

Les expositions aux **PM2.5** sont également élevées mais plus regroupées avec 0 % de la population à moins de 30 µg/m³, 96 % de la population exposée entre 30 et 50 µg/m³, 4 % entre 50 et 70 µg/m³, et un maximum à 125 µg/m³.

Pour le benzène les expositions sont plus basses avec 70 % de la population exposée à moins de 2 µg/m³, 18 % entre 2 et 4 µg/m³, 10 % entre 4 et 6 µg/m³ et finalement moins de 1 % exposé à plus de 10 µg/m³.

Tableau 61 : Répartition de la population par niveaux d'exposition à la PA à Dakar

NO ₂ (µg/m ³)	0-10	10-20	20-30	30-40	>=40	Total
Population exposée	1 122 381	1 487 308	881 334	294 406	160 314	3 945 743
%	28%	38%	22%	7%	4%	
PM10 (µg/m ³)	0-80	80-120	120-160	120-200	>=200	Total
Population exposée	-	2 855 852	930 855	125 163	33 872	3 945 743
%	0%	72%	24%	3%	1%	100%
PM2.5 (µg/m ³)	0-30	30-50	50-70	70-90	>=90	Total
Population exposée	-	3 768 390	167 716	9 039	597	3 945 743
%	0%	96%	4%	0,23%	0,02%	100%
Benzène (µg/m ³)	0-2	2-4	4-6	6-10	>=10	Total
Population exposée	1 998 098	534 541	280 603	86 424	8 087	2 907 752
%	69%	18%	10%	3%	0,3%	100%

PA : Pollution atmosphérique

7.4.3.2 POPULATION EXPOSEE AUX POLLUANTS DE L'AIR EMIS PAR LE TRAFIC ROUTIER

Le nombre de personnes exposées pour chaque niveau de concentration atmosphérique généré par le trafic routier est donné avec les résultats de la modélisation.

Les résultats, agrégés par tranches de concentrations moyennes annuelles, sont présentés dans le tableau suivant.

Les expositions au **NO₂** (dioxyde d'azote) et au **benzène** ne changent pas car il n'y a que la source trafic dans la modélisation.

Les expositions au **PM10** sont moins élevées et aussi moins étendues, avec 34 % de la population entre 0 et 20 µg/m³ ; un tiers de la population est exposée de 20 à 40 µg/m³, et des valeurs maximales inférieures à 300 µg/m³.

Les expositions aux **PM2.5** sont relativement modérées et plus regroupées avec 30 % de la population entre 0 et 5 µg/m³, 40 % de la population exposée entre 5 et 10 µg/m³, 2 % entre 10 et 15 µg/m³, et un maximum à 96 µg/m³.

Figure 51: Répartition de la population par niveaux d'exposition à la PA-TR à Dakar

NO₂ (µg/m³)	0-10	10-20	20-30	30-40	>=40	Total
Population exposée	1 122 381	1 487 308	881 334	294 406	160 314	3 945 743
%	28 %	38 %	22 %	7 %	4 %	
PM10 (µg/m³)	0-20	20-40	40-60	60-80	>=80	Total
Population exposée	1 349 440	1 506 412	694 306	236 549	159 035	3 945 743
%	34 %	38 %	18 %	6 %	4 %	100%
PM2.5 (µg/m³)	0-5	5-10	10-15	15-20	>=20	Total
Population exposée	1 163 957	1 562 853	783 486	258 095	177 352	3 945 743
%	30 %	40 %	20 %	7 %	5 %	100%
Benzène (µg/m³)	0-2	2-4	4-6	6-10	>=10	Total
Population exposée	1 998 098	534 541	280 603	86 424	8 087	2 907 752
%	69 %	18 %	10 %	3 %	0,3 %	100%

PA-TR : Pollution atmosphérique due au Trafic Routier

7.4.3.3 IMPACTS SUR LA SANTE A LONG TERME

Mortalité toutes causes non accidentelles chez les plus de 30 ans

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La pollution de l'air ambiant aux PM2.5 à Dakar, toutes sources confondues, engendrerait environ 2 682 [de 1 805 à 3 453] décès prématurés toutes causes non accidentelles chez les personnes âgées de plus de 30 ans (1 656 204 hab.). Cela représente 17 % (de 13 % à 19 %) de la mortalité totale toutes causes non accidentelles (15 766 [de 14 102 à 18 580]). La pollution aux PM2.5 générée par le trafic routier serait responsable de 741 [487-974] décès prématurés toutes causes non accidentelles chez les personnes âgées de plus de 30 ans, soit 3 à 5 % du total.

Tableau 62 : Mortalité prématurée toutes causes > 30 ans, PM2.5

PM2.5	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité hors cause accidentelles	0,00952	0,00851	0,01122
Nombre de personnes à Dakar âgées de + 30 ans	1 656 204		
Nombre total de décès/an toutes causes hors accidents	15 766	14 102	18 580
Décès toutes causes hors accidents dus à la pollution air ambiant	2 682	1 805	3 453
Décès toutes causes hors accidents dus à la pollution trafic routier	741	487	974
Part de la pollution ambiante	17 %	13 %	19 %
Part du trafic routier	5 %	3 %	5 %

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La pollution de l'air ambiant au **NO₂ à Dakar**, du trafic routier, engendrerait environ 1 017 [de 485 à 1 543] décès toutes causes non accidentelles chez les personnes âgées de plus de 30 ans (1 656 204 hab.). Cela représente 6 % (de 3 % à 8 %) de la mortalité totale toutes causes non accidentelles (15 766 [de 14 102 à 18 580]). Dans la modélisation la seule source d'émission de NO₂ est le trafic routier, donc les résultats sont identiques pour la pollution de l'air ambiant.

Tableau 63 : Mortalité prématurée toutes causes > 30 ans, NO₂

NO ₂	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité hors cause accidentelles	0,00952	0,00851	0,01122
Nombre de personnes à Dakar âgées de + 30 ans	1 656 204		
Nombre total de décès/an toutes causes hors accidents	15 766	14 102	18 580
Décès toutes causes hors accidents dus à la pollution air ambiant *	nc	nc	nc
Décès toutes causes hors accidents dus à la pollution du trafic routier	1 017	485	1543
Part de la pollution ambiante	nc	nc	nc
Part du trafic routier	9 %	3 %	8 %

* Il n'y a qu'une seule source de NO₂ dans la modélisation : le trafic routier

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

nc = non calculé

Au total, lorsque l'on considère la pollution de l'air ambiant toutes sources de pollution confondues, les PM2.5 engendrent environ 2,6 fois plus d'impacts (nombre de décès toutes causes hors accidents) que le NO₂. En revanche si l'on s'intéresse aux seules émissions du trafic routier, alors le NO₂ engendre 1,6 fois plus d'impacts (nombre de décès toutes causes hors accidents) que les PM2.5. Pour l'évaluation des coûts dus au trafic routier on retiendra donc les impacts du NO₂ et pour l'air ambiant les PM2.5.

Mortalité par cancer du poumon chez les plus de 30 ans

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La pollution de **l'air ambiant aux PM2.5 à Dakar**, toutes sources confondues, engendrerait environ 60 [de 29 à 86] décès par cancers du poumon chez les personnes âgées de plus de 30 ans (1 656 204 hab.). Cela représente 23 % (de 15 % à 26 %) de la mortalité totale cancer du poumon (256 [de 195 à 333]). La pollution aux PM2.5 générée par le **trafic routier** serait responsables de **17** [8-26] décès par cancer du poumon chez les personnes âgées de plus de 30 ans, soit 4 à 8 % du total.

Tableau 64 : Mortalité prématurée par cancers du poumon > 30 ans, PM2.5

PM2.5	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité par cancer du poumon	0,00015	0,00012	0,00020
Nombre de personnes à Dakar âgées > 30 ans	1 656 204		
Nombre total de décès/an par cancer du poumon	256	195	333
Décès par cancer du poumon dus à la pollution air ambiant	60	29	86
Décès par cancer du poumon dus à la pollution trafic routier	17	8	26
Part de la pollution ambiante	23 %	15 %	26 %
Part du trafic routier	7 %	4 %	8 %

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

Mortalité infection respiratoire basse (IRB) chez l'enfant < 5 ans

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La pollution de **l'air ambiant aux PM2.5 à Dakar**, toutes sources confondues, engendrerait environ 209 [de 155 à 263] décès par IRB chez les enfants de moins de 5 ans (657 785 hab.). Cela représente 29 % (de 25 % à 34 %) de la mortalité totale IRB (722 [de 461 à 1 042]). La pollution aux PM2.5 générée par le **trafic routier** serait responsables de **72** [21-144] décès par IRB chez les personnes âgées de moins de 5 ans, soit 5 à 14 % du total.

Tableau 65 : Mortalité IRB chez l'enfant < 5 ans PM2.5

PM2.5	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité IRB chez l'enfant < 5 ans	0,00110	0,00070	0,00158
Nombre de personnes à Dakar âgées < 5 ans	657 785		
Nombre total de décès/an	722	461	1042
Décès IRB dus à la pollution air ambiant	209	155	263
Décès IRB dus à la pollution générée par le trafic routier	72	21	144
Part de la pollution ambiante	29 %	34 %	25 %
Part du trafic routier	10 %	5 %	14 %

IRB = Infection Respiratoire Basse

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

Mortalité broncho pneumopathie chronique obstructive chez les + 25 ans

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La pollution **de l'air ambiant aux PM2.5 à Dakar**, toutes sources confondues, engendrerait environ 140 [de 80 à 203] décès par broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) chez les personnes âgées de plus de 25 ans (1 970 537 hab.). Cela représente 27 % (de 20 % à 32 %) de la mortalité totale BPCO (517 [de 406 à 639]). La pollution aux PM2.5 générée **par le trafic routier** serait responsables de 140 [de 80 à 203] décès par BPCO chez les personnes âgées de plus de 25 ans, soit 5 à 17 % du total.

Tableau 66 : Mortalités BPCO > 25 ans, PM2.5

PM2.5	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité BPCO	0,00026	0,00021	0,00032
Nombre de personnes à Dakar âgées > 25 ans	1 970 537		
Nombre total de décès/an BPCO	517	406	639
Décès BPCO dus à la pollution air ambiant	140	80	203
Décès BPCO dus à la pollution générée par le trafic routier	61	21	109
Part de la pollution ambiante	27 %	20 %	32 %
Part du trafic routier	12 %	5 %	17 %

BPCO : Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

Mortalité cancer du poumon chez les + 25 ans

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Ils diffèrent des précédents par la tranche d'âge concerné (+ de 25 ans au lieu de + de 30 ans) ainsi que par la méthode d'évaluation qui est ici basée sur une FIER (Fonction Intégrée Exposition Risque), alors qu'on utilisait une FER (Fonction Exposition Risque) dans la précédente estimation. La pollution de **l'air ambiant aux PM2.5 à Dakar**, toutes sources confondues, engendrerait environ 62 [de 38 à 87] décès par cancer du poumon chez les personnes âgées de plus de 25 ans (1 970 537 hab.). Cela représente 20 % (de 16 % à 22 %) de la mortalité totale cancer du poumon (304 [de 332 à 397]). La pollution aux PM2.5 générée par le **trafic routier** serait responsables de **19** [8-33] décès par cancer du poumon chez les personnes âgées de plus de 25 ans, soit 3 à 8 % du total.

Tableau 67 : Mortalités cancer du poumon > 25 ans, PM2.5

PM2.5	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité cancer du poumon	0,00015	0,00012	0,00020
Nombre de personnes à Dakar âgées > 25 ans	1 970 537		
Nombre total de décès/an cancer du poumon	304	332	397
Décès par cancer du poumon dus à la pollution air ambiant	62	38	87
Décès par cancer du poumon dus à la pollution trafic routier	19	8	33
Part de la pollution ambiante	20 %	16 %	22 %
Part du trafic routier	6 %	3 %	8 %

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

Mortalité cardiopathies ischémiques chez les + 25 ans

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La pollution de **l'air ambiant aux PM2.5 à Dakar**, toutes sources confondues, engendrerait environ 890 [de 499 à 1 234] décès par cardiopathies ischémiques chez les personnes âgées de plus de 25 ans (1 970 537 hab.). Cela représente 38 % (de 27 % à 43 %) de la mortalité totale cardiopathies ischémiques (2 355 [de 1 881 à 2 885]). La pollution aux PM2.5 générée par le **trafic routier** serait responsables de **548** [225-864] décès par cardiopathies ischémiques chez les personnes âgées de plus de 25 ans, soit 12 à 30 % du total.

Tableau 68 : Mortalités par cardiopathies ischémiques > 25 ans, PM2.5

PM2.5	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité par cardiopathies ischémiques	0,00120	0,00095	0,00146
Nombre de personnes à Dakar âgées > 30 ans	1 970 537		
Nombre total de décès/an par cardiopathies ischémiques	2 355	1 881	2 885
Décès cardiopathies ischémiques dus à la pollution air ambiant	890	499	1 234
Décès cardiopathies ischémiques dus à la pollution trafic routier	548	225	864
Part de la pollution ambiante	38 %	27 %	43 %
Part du trafic routier	23 %	12 %	30 %

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

Mortalité accident vasculaire cérébral (AVC) chez les + 25 ans

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La pollution de **l'air ambiant aux PM2.5 à Dakar**, toutes sources confondues, engendrerait environ 62 [de 38 à 87] décès par AVC chez les personnes âgées de plus de 25 ans (1 970 537 hab.). Cela représente 20 % (de 16 % à 22 %) de la mortalité totale AVC (304 [de 232 à 397]). La pollution aux PM2.5 générée par le **trafic routier** serait responsables de **741** [487-974] décès par AVC chez les personnes âgées de plus de 25 ans, soit 3 à 5 % du total.

Tableau 69 : Mortalités par AVC > 25 ans, PM2.5

PM2.5	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité AVC	0,00132	0,00106	0,00162
Nombre de personnes à Dakar âgées > 30 ans	1 970 537		
Nombre total de décès/an par AVC	2 603	2 098	3 189
Décès AVC dus à la pollution air ambiant	778	369	1 122
Décès AVC dus à la pollution trafic routier	413	100	790
Part de la pollution ambiante	30 %	18 %	35 %
Part du trafic routier	16 %	5 %	25 %

AVC = Accident Vasculaire Cérébral

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

Mortalité post néonatale toutes causes non accidentelles PM10

La mortalité post néonatale concerne les enfants âgés de plus que 28 j jusqu'à 364 j. Pour les nourrissons de moins de 28 j on parle de mortalité néonatale.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La pollution de **l'air ambiant aux PM10 à Dakar**, toutes sources confondues, engendrerait environ 493 [de 273 à 747] décès post néonataux toutes causes non accidentelles chez les enfants de moins de 1 an (112 533 hab.). Cela représente 33 % (de 29 % à 32 %) de la mortalité post néonatale totale (1 508 [de 940 à 2 352]). La pollution aux PM10.5 générée par le **trafic routier** serait responsables de **176** [91-290] décès post néonataux toutes causes non accidentelles chez les enfants de moins de 1 an, soit 10 à 12 % du total.

Tableau 70 : Mortalités post néonatale chez les <5 ans, PM10

PM10	Valeur centrale	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Taux de mortalité post néonatale	0,01340	0,00835	0,02090
Nombre de personnes à Dakar âgées de 28 à 364 j	112 533		
Nombre total de décès post néonataux/an	1 508	940	2 352
Décès post néonataux dus à la pollution air ambiant	493	273	747
Décès post néonataux dus à la pollution trafic routier	176	91	290
Part de la pollution ambiante	33 %	29 %	32 %
Part du trafic routier	12 %	10 %	12 %

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

7.4.3.4 SYNTHÈSE DES IMPACTS EN NOMBRE DE CAS

Tableau 71 : Impacts dus à la pollution de l'air ambiant toutes sources confondues

Effets	Polluants	nb cas	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes non accidentelles > 30 ans	PM2.5	2 682	1 805	3 453
Mortalité toutes causes non accidentelles > 30 ans	NO ₂	1 017	485	1 543
Mortalité infection respiratoires basses IRB enfant de <5ans	PM2.5	209	155	263
Mortalité par BPCO > 30ans	PM2.5	140	80	203
Mortalité par cancers du poumon > 30 ans	PM2.5	60	29	86
Mortalité par cancers du poumon > 25 ans	PM2.5	62	38	87
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	PM2.5	890	499	1 234
Mortalité AVC adulte > 25 ans	PM2.5	778	369	1 122
Mortalité par cancer du sang (tous âges)	Benzène	42		183
Mortalité post néonatal (<1 an)	PM10	493	273	747
Total 1 : Toutes causes >30 ans (PM2.5) + IRB + post néonatal		3 384	2 233	4 463
Total 2 : Autres causes de mortalité détaillées		1 912	986	2 829

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IRB = infection respiratoires basses / BPCO = Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive / AVC = Accident Vasculaire Cérébral

Rappel : Pour l'évaluation des impacts de la pollution totale, on retient le calcul basé sur les PM2.5

Tableau 72 : Impacts dus aux émissions du trafic routier

Effets	Polluants	nb cas	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans	PM2.5	741	487	974
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans	NO ₂	1 017	485	1 543
Mortalité infection respiratoires basses IRB enfant de <5ans	PM2.5	72	21	144
Mortalité par BPCO > 30ans	PM2.5	61	21	109
Mortalité par cancers du poumon > 30 ans	PM2.5	17	8	26
Mortalité par cancers du poumon > 25 ans	PM2.5	19	8	33
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	PM2.5	548	864	225
Mortalité AVC adulte > 25 ans	PM2.5	413	100	790
Mortalité par cancer du sang (tous âges)	Benzène	42		183
Mortalité post néonatal (<1 an)	PM10	176	91	290
Total 1 : Toutes causes >30 ans (NO₂) + IRB + post néonatal		1 265	597	1 977
Total 2 : Autres causes de mortalité détaillées		1 083	993	1 340

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IRB = infection respiratoires basses / BPCO = Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive / AVC = Accident Vasculaire Cérébral

Rappel : Pour l'évaluation des impacts dus au trafic routier on retient le calcul basé sur le NO₂

Années de vie perdue (YLL)

Les résultats ne sont pas disponibles. Le logiciel AirQ+ donne des résultats aberrants sur ce point : le nombre d'année de vie perdue est très inférieur au nombre décès toutes causes hors accidents.

Années de vie perdue sans incapacité (DALYs)

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants. Le nombre de Disability Adjusted Life Year (DALYs) générés par la pollution atmosphérique est important. Particulièrement ceux dues à la mortalité post néonatale, que ce soit dû à la pollution générée par le trafic routier ou à la pollution toutes sources confondues.

Tableau 73 : DALYs dus à la pollution de l'air toutes sources

Effets	Polluants	DALYs	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans	PM2.5	105 225	70 817	135 475
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans	NO ₂	39 901	19 028	60 538
Mortalité infection respiratoires basses IRB enfant de <5ans	PM2.5	18 426	13 665	23 186
Mortalité par BPCO > 30ans	PM2.5	4 278	2 445	6 203
Mortalité par cancers du poumon > 30 ans	PM2.5	1 459	705	2 092
Mortalité par cancers du poumon > 25 ans	PM2.5	1 508	924	2 116
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	PM2.5	16 336	7 748	23 560
Mortalité AVC adulte > 25 ans	PM2.5	12 006	6 648	18 192
Mortalité par cancer du sang (tous âges)	Benzène	1023	0	4457
Mortalité post néonatal (<1 an)	PM10	45 535	25 215	68 995
Total 1 : Toutes causes >30 ans (PM2.5) + IRB + post néonatal		169 186	109 697	135 475
Total 2 : Autres causes de mortalité détaillées		35 151	17 765	54 527

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IRB = infection respiratoires basses / BPCO = Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive / AVC = Accident Vasculaire Cérébral

Tableau 74 : DALYs dus à la pollution de l'air engendrée par le trafic routier

Effets	Polluants	DALYs	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans	PM2.5	29 072	19 107	38 214
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans	NO ₂	39 901	19 028	60 538
Mortalité infection respiratoires basses IRB enfant de <5ans	PM2.5	6 348	1 851	12 695
Mortalité par BPCO > 30ans	PM2.5	1 864	642	3 331
Mortalité par cancers du poumon > 30 ans	PM2.5	413	195	632
Mortalité par cancers du poumon > 25 ans	PM2.5	462	195	803
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	PM2.5	8 672	2 100	16 588
Mortalité AVC adulte > 25 ans	PM2.5	4 286	2 216	7 062
Mortalité par cancer du sang (tous âges)	Benzène	1 023	0	4 457
Mortalité post néonatal (<1 an)	PM10	16 256	8 405	26 785
Total 1 : Toutes causes >30 ans (NO₂) + IRB + post néonatal		50 535	23 096	80 295
Total 2 : Autres causes de mortalité détaillées		16 307	5 152	32 241

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

DALYs = Disability Adjusted Life Year

IRB = infection respiratoires basses / BPCO = Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive / AVC = Accident Vasculaire Cérébral

7.4.3.5 ESTIMATION DU COUT MONETAIRE DES IMPACTS SUR LA SANTE

Coûts des impacts en nombre de décès prématurés

Tableau 75 : Coûts des impacts dus à la pollution de l'air toutes sources

Effets	Coûts en FCFA ₂₀₂₁	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans (PM2.5)	734 240 448 956	494 147 654 872	945 314 045 580
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans (NO ₂)	278 420 036 014	132 776 516 683	422 420 959 261
Mortalité infection respiratoires basses IRB enfant de <5ans	57 217 096 880	42 433 732 136	72 000 461 624
Mortalité par BPCO > 30ans	38 327 241 929	21 901 281 102	55 574 500 797
Mortalité par cancers du poumon > 30 ans	16 425 960 827	7 939 214 400	23 543 877 185
Mortalité par cancers du poumon > 25 ans	16 973 492 854	10 403 108 524	23 817 643 199
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	243 651 752 264	136 609 240 876	337 827 261 004
Mortalité AVC adulte > 25 ans	212 989 958 720	101 019 659 085	307 165 467 460
Mortalité par cancer du sang (tous âges)	11 498 172 579		50 099 180 522
Mortalité post néonatal (<1 an)	134 966 644 793	74 738 121 762	204 503 212 293
Total 1 : Toutes causes >30 ans (PM3.5)+ IRB + post néonatal	926 424 190 629	611 319 508 769	1 221 817 719 497
Total 2 : Autres causes de mortalité détaillées	523 440 618 346	269 933 289 586	774 484 052 982

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IRB = infection respiratoires basses / BPCO = Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive / AVC = Accident Vasculaire Cérébral

Tableau 76 : Coûts des impacts dus aux émissions du trafic routier

Effets	Coûts en FCFA ₂₀₂₁	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans (PM2.5)	202 860 616 210	133 324 048 711	266 648 097 421
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans (NO ₂)	278 420 036 014	132 776 516 683	422 420 959 261
Mortalité infection respiratoires basses IRB enfant de <5ans	19 711 152 992	5 749 086 289	39 422 305 984
Mortalité par BPCO > 30ans	16 699 726 841	5 749 086 289	29 840 495 502
Mortalité par cancers du poumon > 30 ans	4 654 022 234	2 190 128 110	7 117 916 358
Mortalité par cancers du poumon > 25 ans	5 201 554 262	2 190 128 110	9 034 278 455
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	150 023 775 551	236 533 835 905	61 597 353 100
Mortalité AVC adulte > 25 ans	113 065 363 691	27 376 601 378	216 275 150 886
Mortalité par cancer du sang (tous âges)	11 498 172 579	0	50 099 180 522
Mortalité post néonatal (<1 an)	48 182 818 425	24 912 707 254	79 392 143 996
Total 1 : Toutes causes >30 ans (NO₂)+ IRB + post néonatal	346 314 007 431	163 438 310 226	541 235 409 242
Total 2 : Autres causes de mortalité détaillées	296 488 592 923	271 849 651 683	366 846 458 464

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IRB = infection respiratoires basses / BPCO = Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive / AVC = Accident Vasculaire Cérébral

Coûts des impacts en années de vies perdues sans incapacités

Tableau 77 : Coûts des impacts dus à la pollution de l'air ambiant toutes sources

Effets	Coûts en FCFA ₂₀₂₁	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans (PM2.5)	1 043 338 210 935	702 172 062 169	1 343 268 770 454
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans (NO ₂)	395 628 247 771	188 672 271 552	600 250 134 031
Mortalité infection respiratoires basses IRB enfant de <5ans	182 694 830 360	135 491 381 367	229 898 279 352
Mortalité par BPCO > 30ans	42 418 736 694	24 239 278 111	61 507 168 207
Mortalité par cancers du poumon > 30 ans	14 468 836 202	6 993 270 831	20 738 665 223
Mortalité par cancers du poumon > 25 ans	14 951 130 742	9 163 596 261	20 979 812 493
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	161 979 157 980	76 825 590 353	233 599 762 537
Mortalité AVC adulte > 25 ans	119 041 848 284	65 919 725 318	180 373 753 891
Mortalité par cancer du sang (tous âges)	10 141 496 203	0	44 187 947 740
Mortalité post néonatal (<1 an)	451 491 944 026	250 014 808 761	684 106 454 741
Total 1 : Toutes causes >30 ans (PM2.5)+ IRB + post néonatal	1 345 074 889 578	903 583 168 854	1 753 540 803 697
Total 2 : Autres causes de mortalité détaillées	348 532 369 904	176 148 190 043	540 648 444 868

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

DALYs = Disability Adjusted Life Year

IRB = infection respiratoires basses / BPCO = Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive / VC = Accident Vasculaire Cérébral

Tableau 78 : Coûts des impacts dus aux émissions du trafic routier

Effets	Coûts en FCFA ₂₀₂₁	IC _{inf.}	IC _{sup.}
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans (PM2.5)	288 260 109 733	189 450 301 538	378 900 603 076
Mortalité toutes causes non accidentelles >30 ans (NO ₂)	395 628 247 771	188 672 271 552	600 250 134 031
Mortalité infection respiratoires basses IRB enfant de <5ans	62 937 931 990	18 356 896 830	125 875 863 980
Mortalité par BPCO > 30ans	18 482 449 560	6 362 810 504	33 026 016 426
Mortalité par cancers du poumon > 30 ans	4 099 503 591	1 929 178 160	6 269 829 021
Mortalité par cancers du poumon > 25 ans	4 581 798 131	1 929 178 160	7 957 859 911
Mortalité cardiopathie ischémique adulte > 25 ans	85 986 365 355	20 819 943 185	164 477 551 163
Mortalité AVC adulte > 25 ans	42 497 698 373	21 973 241 773	70 024 616 638
Mortalité par cancer du sang (tous âges)	10 141 496 203	0	44 187 947 740
Mortalité post néonatal (<1 an)	161 181 708 212	83 338 269 587	265 583 496 486
Total 1 : Toutes causes >30 ans (NO₂) + IRB + post néonatal	501 063 878 134	229 002 410 155	796 150 614 649
Total 2 : Autres causes de mortalité détaillées	161 689 807 621	51 085 173 622	319 673 991 878

IC_{inf.} = Borne inférieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

IC_{sup.} = Borne supérieure de l'Intervalle de Confiance à 95 %

DALYs = Disability Adjusted Life Year

IRB = infection respiratoires basses / BPCO = Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive / AVC = Accident Vasculaire Cérébral

7.4.4 SYNTHÈSE DES IMPACTS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

L'analyse menée ci-dessus montre que la pollution de l'air et la pollution de l'air liée au trafic routier ont des effets considérables sur la santé des dakarois.

Ainsi les résultats obtenus montrent que la **pollution de l'air ambiant** contribue à environ **3 400** [de 2 200 à 4 400] **décès prématurés par an** (toutes causes hors accidents chez les plus de 30 ans + IRB chez les moins de 5 ans + mortalité post néonatal) soit environ 19 % [de 14 % à 20 %] des décès totaux à Dakar correspondant aux mêmes causes (environ 18 000 décès par an [de 15 500 à 22 000]).

La pollution due aux émissions du **trafic routier** est responsable d'environ **1 260** [600 à 2 000] **décès prématurés par an, soit environ 7 % [de 4 % à 9 %] des décès totaux à Dakar** correspondant aux mêmes causes. Cela correspond à respectivement 135 700 [91 000-177 000] années de vie perdues sans incapacité par an attribuable à la pollution de l'air ambiant et 50 000 [23 000-80 300] années de vie perdues sans incapacité par an attribuable aux émissions du trafic routier.

Les coûts monétaires correspondants sont élevés avec :

- **926 milliards de FCFA₂₀₂₁ [611 à 1 222] dus à la mortalité prématurée attribuable à la pollution de l'air ambiant,**
- **346 milliards de FCFA₂₀₂₁ [164 à 541] dus à la mortalité prématurée attribuable aux émissions du trafic routier.**

Ces résultats sont encore plus élevés lorsqu'on utilise le nombre d'années de vie perdue sans incapacité avec respectivement 1 345 milliards de FCFA₂₀₂₁ [903 à 1 754] dus à la pollution de l'air ambiant et **501 milliards de FCFA₂₀₂₁ [230 à 800] dus aux émissions du trafic routier**. La mortalité post néonatal compte pour plus de 30 % des coûts basés sur les années de vie perdues sans incapacité alors qu'elle ne représente qu'environ 15 % des coûts basés sur la mortalité prématurée.

C'est cette fourchette haute basée sur l'estimation en nombre d'années de vie perdue sans incapacité que l'on retiendra pour la synthèse générale. Elle tient en effet mieux compte de la jeunesse de la population sénégalaise impactée par les effets à long terme de la pollution de l'air.

8 SYNTHÈSE GLOBALE DES EXTERNALITÉS

Coût global des externalités liées au transport urbain à Dakar

Le tableau ci-dessous récapitule la valorisation des différentes externalités telle qu'elle résulte des analyses qui ont été présentées dans les chapitres précédents.

Externalité	En Mds de FCFA	En %
Congestion	235,5	26%
Sécurité routière	92,6	10%
Bruit	2,3	1%
Emissions GES	66,2	7%
Pollution atmosphérique	501,0	56%
Total	897,6	100%

Tableau 79 : Valorisation des externalités du transport urbain à Dakar – Année 2021 hors COVID

Ces résultats appellent les commentaires suivants :

- **L'externalité qui coûte le plus à la population dakaroise correspond aux effets de la pollution atmosphérique du transport routier sur la santé** ; les impacts de la pollution, liée aux caractéristiques du parc automobile, privé comme public, sur une population jeune sont en effet majeurs en termes sanitaires et la valorisation qui en découle en est la traduction directe. L'intérêt du développement de transports collectifs massifs (TER et BRT) et propres ne peut que s'en trouver renforcé.
- **La seconde externalité la plus coûteuse pour les dakarois correspond à la congestion**. Si son estimation paraît élevée, elle ne prend cependant pas en compte les effets sur la productivité des entreprises, délicate à estimer. Elle risque également d'augmenter de manière exponentielle dans les années à venir, beaucoup plus vite que la croissance du nombre de déplacements. Pour lutter contre le développement de la congestion, différentes actions sont possibles (limitation de la place du véhicule individuelle, développement massif des transports collectif...) et déjà esquissées dans les actions du Plan de Mobilité Urbain Soutenable de Dakar mené par le CETUD.

- **La troisième externalité par ordre d'importance correspond à la sécurité routière**. Comme on a pu le voir, la moitié des tués dans les accidents de la circulation de la région de Dakar sont des piétons. Si le renforcement des contrôles est bien sûr à promouvoir, le développement d'aménagements urbains permettant aux 70% des déplacements quotidiens qui se font à pied de se faire en toute sécurité permettrait certainement de limiter le nombre des décès.
- **La quatrième externalité par ordre d'importance correspond aux émissions de gaz à effet de serre**. La valorisation qui en est faite dépend bien sûr du prix du carbone qui est retenu mais comme pour la pollution le développement de transport collectif et dont les émissions de GES sont réduites permettra de limiter ce poste.
- **Les nuisances sonores figurent en toute fin de classement avec des montants très inférieurs à ceux des autres externalités**. C'est souvent le cas même si la différence est généralement moins marquée. C'est sans doute lié à la difficulté de l'estimation des niveaux sonores mais aussi à la valorisation elle-même qui s'appuie sur l'adaptation d'une méthode française.

Coût des externalités liées au transport urbain à Dakar rapporté au PIB

Le PIB sénégalais est estimé pour l'année 2021 à 15 319 Mds de FCFA (source World Bank). Sans qu'il s'agisse d'une estimation officielle, on peut considérer que la région de Dakar génère un peu plus de la moitié de la richesse nationale (55%)⁵¹.

Le coût des externalités du transport urbain représente donc **près de 11% du PIB de la région de Dakar**.

Le tableau page suivante détaille la part que représente chaque externalité par rapport au PIB de la région de Dakar.

⁵¹ <https://blogs.worldbank.org/fr/africacan/la-place-des-villes-dans-un-senegal-emergent>

Externalité	En % du PIB Dakarois
Congestion	2,8%
Sécurité routière	1,1%
Bruit⁵²	0,0%
Emissions GES	0,8%
Pollution atmosphérique	5,9%
Total	10,7%

Tableau 80 : Part des externalités en fonction du PIB dakarois
- Année 2021 hors COVID

Ces résultats sont considérables. S'ils sont du même ordre que ce qui peut être observé dans d'autres pays (par exemple au niveau de l'Europe des 28 où les externalités du transport représentent 6,6% du PIB), les impacts sanitaires majeurs de la pollution liée au transport routier ont tendance à renchérir le coût des externalités du transport pour la collectivité dakaroise.

Comparaison avec les résultats de l'étude menée en 1998 par la Banque mondiale sur les externalités du transport urbain à Dakar

En 1998, la Banque mondiale a réalisé une étude sur la mesure et la valorisation des dysfonctionnements du transport urbain et de la pollution de l'air. Ses conclusions ont été discutées lors d'un séminaire national sur le transport urbain et la qualité de l'air organisé conjointement par le CETUD (Conseil Exécutif du Transport Urbain à Dakar) et la Banque mondiale.

Même si des divergences méthodologiques existent⁵³, les principales externalités (congestion, accidentologie, pollution de l'air et nuisances sonores) sont prises en compte. Les résultats principaux figurent dans le tableau ci-après.

Coûts estimatifs de l'impact du dysfonctionnement à Dakar				
Type de dysfonctionnement	Nombre	Coût unitaireFCFA	Coût totalFCFA	%PNB96 2.372.7
Blessures corporelles				
Victimes par an ¹	179	6.600.000	1.181.400.000	
Blessures graves par an	1.053	800.000	842.400.000	
Total			2.023.800.000	0,1
Encombrement				
Heures perdues par an	224.400.000	185	41.401.800.000	1,7
Pollution				
Nombre d'habitants affectés par polluants (PM10&Pb) ²	2.100.000	30.000	63.000.000.000	2,7
Coût total			108.449.400.000	4,6

¹Estimé sur la base de la méthode des " revenus perdus " : il est à noter que la méthode de la " disponibilité à payer " débouche sur des chiffres supérieurs de 25 à 30 fois

²Estimé sur la base de chiffres tirés de l'étude faite à Djakarta (Urban Air Quality, World Bank Paper N° 379, 1997)

Tableau 81 : Valorisation des externalités du transport urbain à Dakar
- Etude Banque Mondiale (1998)

Depuis 1998, la population dakaroise, les besoins de mobilité et les conditions de déplacements ont très largement évolué dans l'agglomération. Dans le même temps, l'économie sénégalaise a progressé. Il est donc difficile de comparer directement la valorisation en valeur absolue faite dans les deux études (100 Mds pour l'année 1998 en FCFA de 1998 contre 900 Mds pour l'année 2021 en FCFA de 2021).

valorisation du coût des accidents repose sur l'estimation des revenus perdus ce qui minimise les résultats.

⁵² Le bruit représente 0,03% du PIB de la région de Dakar

⁵³ Le sujet pollution de l'air ne concerne pas uniquement le transport ; les impacts de la pollution de l'air sont évalués sur la base de données issues d'autres pays. La méthode de

Il est par contre plus facile de comparer la valorisation par rapport au PIB. En associant PIB et PNB et en faisant la même approximation que celle faite précédemment pour la part que représente l'agglomération dakaroise dans le PIB national, on arrive à une valorisation des externalités qui représentait 8,2% du PIB de la région de Dakar en 1998 contre 11% en 2021. Ces estimations sont donc d'ordre de grandeur comparable malgré les différences méthodologiques.

- **Elaborer un référentiel socio-économique** permettant d'intégrer à l'analyse des projets de transport la valorisation des externalités : ceci permettrait de renforcer l'intérêt du développement des transports collectifs et en particulier des transports les moins carbonés et les moins polluants.

	Etude de 2021	Etude de 1998
Congestion	2,8%	3,2%
Sécurité routière	1,1%	0,2%
Emissions GES	0,8%	Non étudié
Pollution atmosphérique/bruit	5,9%	4,8%
Total	10,7%	8,2%

*Tableau 82 : Part des externalités en fonction du PIB dakarois
- Comparaison des études de 1998 et 2022*

Quelles suites à donner ?

La présente étude a permis d'estimer le coût des différentes externalités du transport urbain à Dakar et de les comparer au PIB régional. Elle a montré l'importance de ces coûts externes pour la collectivité. Au-delà des différentes actions qui sont entreprises à Dakar pour une mobilité plus soutenable et des pistes que nous avons proposé au début de ce chapitre, **un suivi et une mise à jour régulière de ces estimations** nous semblent également prioritaires. Pour cela, différentes actions pourraient être entreprises :

- **Mettre en œuvre un observatoire de la mobilité et des déplacements** qui au-delà des seuls recueils de données de trafic (qui sont tout à fait nécessaires) permette de collecter d'autres indicateurs (bruit, carbone, pollution) : les capteurs permettant de tels recueils existent aujourd'hui. Un tel observatoire aurait de multiples applications dans une agglomération où les déplacements sont appelés à doubler d'ici 15 ans.
- **Développer le réseau de mesure de la qualité de l'air** compte tenu de l'importance du coût de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Dakar,

Annexe 1 : Facteurs d'émissions de polluants atmosphériques et facteurs de consommation de carburant et énergie pris en compte pour l'évaluation des externalités négatives liées au transport roulier à Dakar

	Type d'émissions	Source des données	Unité	VL		PL		BUS		2R		
				Gasoil	Essence	Gasoil	Essence	Gasoil	Essence	Gasoil	Essence	
Carburant	Consommation	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	5.50E+01	6.60E+01	1.55E+02	1.77E+02	3.01E+02	3.01E+02	2.00E+01	2.00E+01	
Energie	Consommation	EMEP - Tiers 2	MJ/veh.km	2.35E+00	2.89E+00	6.62E+00	7.75E+00	1.29E+01	1.29E+01	0.00E+00	8.80E-01	
Polluants atmosphériques	NOx	Echappement	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	7.16E-01	2.55E-01	5.50E+00	6.60E+00	1.01E+01	0.00E+00	0.00E+00	1.70E-01
	PM10	Echappement	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	5.48E-02	2.20E-03	1.04E-01	0.00E+00	4.79E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-02
		Usure surface route	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	1.38E-02	1.38E-02	5.90E-02	5.90E-02	5.90E-02	5.90E-02	6.40E-03	6.40E-03
		Remise en suspension	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	7.50E-03	7.50E-03	3.80E-02	3.80E-02	3.80E-02	3.80E-02	3.00E-03	3.00E-03
		Remise en suspension	Paved road - EPA	g/veh.km	1.21E+00	1.21E+00	1.05E+01	1.05E+01	1.05E+01	1.05E+01	1.21E+00	1.21E+00
	PM2.5	Echappement	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	5.48E-02	2.20E-03	1.04E-01	0.00E+00	4.79E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.80E-02
		Usure pneu et frein	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	7.40E-03	7.40E-03	3.16E-02	3.16E-02	3.16E-02	3.16E-02	3.40E-03	3.40E-03
		Usure surface route	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	4.10E-03	4.10E-03	2.05E-02	2.05E-02	2.05E-02	2.05E-02	1.60E-03	1.60E-03
		Remise en suspension	Paved road - EPA	g/veh.km	2.92E-01	2.92E-01	2.54E+00	2.54E+00	2.54E+00	2.54E+00	2.92E-01	2.92E-01
	CO	Echappement	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	8.90E-02	1.82E+00	9.72E-01	5.95E+01	2.17E+00	2.17E+00	1.80E+00	1.80E+00
	HC/COVNM	Echappement	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	3.50E-02	2.52E-01	2.07E-01	5.25E+00	7.06E-01	0.00E+00	0.00E+00	1.78E+00
		Evaporation	EMEP - Tiers 1	g/veh	0.00E+00	5.33E+03	0.00E+00	8.10E+03	0.00E+00	8.10E+03	0.00E+00	2.74E+03
	Benzène	Echappement	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	6.93E-04	1.41E-01	4.10E-03	2.95E+00	1.40E-02	0.00E+00	0.00E+00	9.99E-01
		Evaporation	EMEP - Tiers 1	g/veh	0.00E+00	5.33E+02	0.00E+00	8.10E+02	0.00E+00	8.10E+02	0.00E+00	2.74E+02
SO2	Echappement	EMEP - Tiers 1 - & Décret 2014 - 961 - SO2	g/gFC	5.00E-03	1.00E-03	5.00E-03	1.00E-03	5.00E-03	1.00E-03	5.00E-03	1.00E-03	
GES	CO2	Consommation carburant	EMEP - Tiers 1	kg/kgFC	3.17E+00	3.17E+00	3.17E+00	3.17E+00	3.17E+00	3.17E+00	3.17E+00	3.17E+00
		Lubrification huile	EMEP - Tiers 2	g/veh.km	4.64E-01	4.64E-01	4.86E-01	1.99E+00	2.05E+00	2.05E+00	2.12E+00	2.12E+00
	N2O	Echappement	EMEP - Tiers 1	g/kgFC	8.70E-02	2.06E-01	5.10E-02	0.00E+00	5.10E-02	0.00E+00	0.00E+00	5.90E-02

Annexe 2 : Facteurs d'émissions de polluants atmosphériques et facteurs de consommation de carburant et énergie pris en compte pour l'évaluation des externalités négatives liées au transport ferroviaire à Dakar

		Type	Origine	Unité	Gasoil
Polluants atmosphériques	NOx	Echappement	Aggregated Tier 2 Method	kg/t FC	5.24E+01
	PM10	Echappement	Aggregated Tier 2 Method	kg/t FC	1.44E+00
		Abrasion freins	OMINEA 2022	g/km	4.99E+00
		Abrasion rails	OMINEA 2022	g/km	3.38E+00
		Abrasion roues	OMINEA 2022	g/km	3.38E+00
		Abrasion caténares	OMINEA 2022	g/km	1.60E-01
	PM25	Echappement	Aggregated Tier 2 Method	kg/t FC	1.37E+00
		Abrasion freins	OMINEA 2022	g/km	2.34E+00
		Abrasion rails	OMINEA 2022	g/km	1.01E+00
		Abrasion roues	OMINEA 2022	g/km	1.01E+00
		Abrasion caténares	OMINEA 2022	g/km	2.40E-02
	CO	Echappement	Guidebook 2006	kg/t FC	1.07E+01
	HC/COVNM	Echappement	Guidebook 2006	kg/t FC	4.65E+00
Benzène	Echappement	-	-	-	
SO2	Echappement	Décret 2014 - 961 - SO2	g/gFC	5.00E-03	
GES	CO2	Echappement	Guidebook 2006	kg/t FC	3.14E+03