

Fiche bibliographique

UR (1er auteur) GRETIA	Projet	Rapport INRETS	
Titre Tronc commun A4-A86			
Sous-titre Impact de l'utilisation de la voie auxiliaire sur les nuisances		Langue : F	
Auteur Simon COHEN		Rattachement extérieur INRETS	
Nom adresse financeur, coéditeur DIRIF		Convention DIRIF-INRETS n°F05-39	
		Octobre 2007	
<p>Résumé</p> <p>Ce document est élaboré dans le cadre d'une convention DIRIF-INRETS relative au fonctionnement du tronc commun autoroutier A4-A86, dans le Val-de-Marne. Il présente les résultats d'évaluation des effets de la voie auxiliaire du tronc commun sur les émissions de polluants, sur la consommation d'énergie et sur le bruit. L'évaluation s'effectue, a posteriori, par comparaison entre la situation 2003 de référence à 2x4 voies avec BAU et la nouvelle configuration 2006 avec la voie auxiliaire. Compte-tenu des difficultés liées à la mesure directe des diverses émissions – polluants, consommation, bruit – l'évaluation repose sur des données réelles de trafic associées à <i>des modèles de calcul appropriés</i>.</p> <p>Les principales tendances de la comparaison avant/après se déclinent ainsi.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sur le réseau d'influence du tronc commun, on observe les jours ouvrables une légère diminution du volume de trafic (-1%) associée à une baisse substantielle (-7%) du temps total passé en circulation. Les samedis et dimanches ces tendances sont encore plus marquées. • L'impact environnemental est positif sur le réseau d'influence. Les principales émissions de polluants et de gaz à effet de serre tout comme la consommation d'énergie diminuent. La réduction atteint 20% pour les oxydes d'azote, 39% pour le monoxyde de carbone et plus de 85% pour le dioxyde de soufre. Elle est de 4,25% pour les gaz à effet de serre, de 15% pour la consommation d'essence et de 1% environ pour le diesel. • Cette réduction provient principalement de l'amélioration du niveau de service de circulation résultant de l'utilisation de la voie auxiliaire mais aussi, dans une moindre mesure, de l'effet de la réglementation, de l'évolution du parc et de l'amélioration des carburants entre les années 2003 et 2006. • Aux heures de pointe avec la voie auxiliaire ouverte, le niveau sonore n'augmente que de 2,2 dB(A) au plus, alors que l'oreille ne perçoit une variation de bruit qu'à partir d'une différence de 3 dB(A). Par ailleurs, le nouveau revêtement mis en place diminue de 4 à 7 dB(A) ce volume sonore. • Pour le reste de la journée et de la nuit, il n'y a pas d'augmentation du débit et le bilan sonore demeure toujours favorable grâce au nouvel enrobé. <p>Dans la nouvelle configuration du tronc commun A4-A86, les principales nuisances dues au trafic – pollution, consommation, bruit – diminuent par rapport à la situation antérieure.</p>			
Mots Clés Voie auxiliaire, vitesse, consommation, polluants, bruit.		Distribution : Libre	
Nombre de pages : 56	Prix	Confidentiel Non	Bibliographie

Publication data form

<i>UR (1rst author)</i> GRETIA	<i>Project</i>	INRETS Report	
Title Motorway common trunk A4-A86			
Subtitle Impact of the auxiliary lane on the environment		<i>Language</i> : French	
Author Simon COHEN		Affiliation: INRETS	
Sponsor, co-editor name DIRIF		Contract DIRIF-INRETS n°F05-39	
		October 2007	
<p>Summary</p> <p>This document, elaborated in the framework of a DIRIF-INRETS contract, aims to assess the effects of the use of the hard shoulder lane (or peak lane) of the A4-A86 motorway common trunk on the emissions of pollutants, the energy consumption and the traffic noise. The evaluation is carried out, ex-post, by a comparison between the reference situation of 2003 with 2x4 lanes and a hard shoulder and the new configuration 2006 with the 2x4 lanes and the dynamic peak auxiliary lane. Taking into account of the difficulties related to the direct measurement of the various emissions - pollutants, consumption, noise - the evaluation is based on real traffic data associated with suitable calculation models.</p> <p>The principal results derived from the before/after comparison are declined thus.</p> <ul style="list-style-type: none"> • On the network of influence, one observes the working days a light reduction in the volume of traffic (-1%) associated a substantial fall (-7%) of the total time spent. Saturdays and Sundays these tendencies even are marked. • The environmental impact is positive on the network of influence. The principal emissions of pollutants and gas for purpose of greenhouse just like the energy consumption decrease. The reduction reaches 20% for oxides of nitrogen, 39% for monoxide of carbon and more than 85% for dioxide of sulphur. It is 4,25% for the gases for purpose of greenhouse, 15% for the petrol consumption and approximately 1% for the diesel. • This reduction comes mainly from the improvement of the level of service of traffic resulting from the use of the auxiliary way but also, to a lesser extent, from the effect of the regulation, evolution of the fleet of vehicles and improvement of the fuels between years 2003 and 2006. • During peak hours with the auxiliary lane open, the noise level increases only by 2,2 dB(A) at most, whereas the ear perceives a variation of noise only starting from one difference of 3 dB(A). In addition, the new draining coating set up decreases by 4 to 7 dB(A) this sound volume. • For the remainder of the day and the night, there is no increase of the flow and the sound assessment remains always favourable thanks to the new draining bituminous mix. <p>In the new configuration of motorway common trunk A4-A86, the principal harmful effects due to the traffic - pollutants, consumption, noise – decrease compared to the former situation.</p>			
Key words: Peak lane, average speed, fuel consumption, pollutants, noise		Distribution: Free	
Number of pages: 56	Price:	Confidential: No	Bibliography

SOMMAIRE

1. L'OPÉRATION TRONC COMMUN A4-A86	9
1.1. LE TRONC COMMUN A4-A86 DANS LE VAL-DE-MARNE	9
1.2. LA CONFIGURATION AVANT AMENAGEMENT	9
1.3. LE SITE APRES AMENAGEMENT	10
1.4. LES DISPOSITIFS	10
1.5. LA STRATEGIE D'EXPLOITATION	12
2. LES PRINCIPAUX IMPACTS SUR LE TRAFIC	13
2.1. LA CAPACITÉ SELON LA CONFIGURATION	13
2.2. LA VITESSE MOYENNE D'ITINÉRAIRE	15
2.3. ANALYSE QUANTITATIVE ET INDICATEURS	15
3. CONSOMMATION ET ÉMISSIONS DE POLLUANTS : MÉTHODE DE CALCUL	19
3.1. CARACTERISTIQUES DES ÉMISSIONS POLLUANTES	19
3.2. LE MODÈLE COPERT ET LE LOGICIEL IMPACT-ADEME	23
4. IMPACT DE LA VOIE AUXILIAIRE SUR LES ÉMISSIONS	27
4.1. LES DONNÉES D'ENTRÉE	27
4.2. LES ÉMISSIONS JOURNALIÈRES DE POLLUANTS	28
4.1. LES GAZ À EFFET DE SERRE	30
4.1. LA CONSOMMATION DE CARBURANT	31
4.1. CONCLUSION	32
5. ÉLÉMENTS RELATIFS AU BRUIT	33
5.1. QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT	33
5.2. DES CAMPAGNES DE MESURE DU BRUIT SUR A4 ET A86	38
5.3. VARIABILITE DES MESURES DE BRUIT	40
5.4. UNE ÉTUDE EN SIMULATION	41
5.5. UNE FORMULATION ANALYTIQUE	42
5.6. VALIDATION À PARTIR DE MESURES RÉELLES	42
5.7. APPLICATION AUX DÉBITS DE L'HEURE DE POINTE	42
5.8. CONCLUSION	42
6. ÉLÉMENTS DE CONCLUSION	47
7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48
8. ANNEXES	49
8.1. RÉSULTATS DU LOGICIEL IMPACT-ADEME	
8.2. RÉSULTATS ISSUS DE LA SIMULATION ACOUSTIQUE	

Liste des Figures

Figure 1-1 : Le tronc commun autoroutier A4-A86.....	9
Figure 1-2 : Nouvelle configuration du tronc commun A4-A86 après aménagement.....	10
Figure 1-3 : Glissière mobile d'affectation.....	11
Figure 1-4 : Revêtements différents.....	11
Figure 1-5 : Dispositif de vidéosurveillance.....	12
Figure 2-1 : Courbe vitesse-débit de la station A4Y6.14, sens Paris-province, avant et après aménagement.....	13
Figure 2-2 : Profils comparatifs de trafic avec voie auxiliaire fermée.....	14
Figure 3-1 : Cycles de conduite urbaine, fluide (en haut) correspondant à une vitesse moyenne de 19 km/h, lent (en bas) correspondant à une vitesse moyenne de 10 km/h.....	20
Figure 3-2 : Emission de NO _x à chaud d'un véhicule essence catalysé en fonction de la vitesse moyenne et profils types de circulation V=f(T).....	20
Figure 3-3 : Evolution des normes d'émissions des voitures particulières en Europe pour une voiture de cylindrée moyenne (base : 100 g/km à la première réglementation).....	21
Figure 3-4 : Méthodologie d'évaluation de la consommation et des émissions de polluants mise en œuvre dans le logiciel IMPACT-ADEME version 2.0.....	25
Figure 4-1 : L'évolution journalières des émissions polluantes.....	29
Figure 4-2 : L'évolution de CO ₂ et d'équivalent CO ₂	31
Figure 4-3 : L'évolution de la consommation de carburant.....	31
Figure 5-1 : Contribution des sources de bruit d'un véhicule selon sa vitesse.....	34
Figure 5-2 : Echelle des niveaux de bruit.....	34
Figure 5-3 : Plage de sensibilité de l'oreille.....	35
Figure 5-4 : Variation horaire typique du niveau sonore du trafic au cours d'une journée.....	35
Figure 5-5 : Variation des niveaux sonores en façade sur une journée dans le cas d'un enrobé silencieux.....	39
Figure 5-6 : Corrélation entre mesures de bruit et indicateurs de trafic.....	41
Figure 5-7 : Corrélation entre mesures de bruit et indicateurs de trafic.....	41

Liste des Tableaux

Tableau 2-1 : Capacité du tronç commun A3-A86 avant et après aménagement	14
Tableau 2-2 : Vitesses moyennes journalières par itinéraires	15
Tableau 2-3 : Variations absolues et relatives des indicateurs avant-après (plage 0h-24h), jours ouvrables	16
Tableau 2-4 : Variations absolues et relatives des indicateurs avant-après (plage 0h-24h), samedis	16
Tableau 2-5 : Variations absolues et relatives des indicateurs avant-après (plage 0h-24h), dimanches	17
Tableau 4-1 : Données d'entrée pour le logiciel IMPACT-ADEME, jours ouvrables	27
Tableau 4-2 : Données d'entrée pour IMPACT-ADEME, samedis	28
Tableau 4-3 : Données d'entrée pour IMPACT-ADEME, dimanches	28
Tableau 4-4 : Variation des émissions polluantes, jours ouvrables	28
Tableau 4-5 : Variation des émissions polluantes, samedis	29
Tableau 4-6 : Variation des émissions polluantes, dimanches	29
Tableau 4-7 : Variation moyenne	29
Tableau 4-8 : Variation des gaz à effet de serre, jours ouvrables	30
Tableau 4-9 : Variation des gaz à effet de serre, samedis	30
Tableau 4-10 : Variation des gaz à effet de serre, dimanches	30
Tableau 4-11 : Variation moyenne des gaz à effet de serre	30
Tableau 4-12 : Variation journalière de la consommation de carburant	31
Tableau 5-1 : Part des sources de bruit dans le bruit émis, selon le type de véhicule et les conditions de circulation	33
Tableau 5-2 : Critère d'ambiance sonore	35
Tableau 5-3 : Mesure réalisée à 2m devant la façade du bâtiment	36
Tableau 5-4 : Données pour le calcul de $\Delta L'_{Aeq}$	44
Tableau 5-5 : Résultats du calcul de $\Delta L'_{Aeq}$	44

L'OPÉRATION TRONC COMMUN A4-A86

On rappelle succinctement dans ce chapitre les principales caractéristiques de l'opération tronc commun A4-A86.

1.1. Le tronc commun A4-A86 dans le Val-de-Marne

À l'est de Paris, le tronc commun aux autoroutes A4 et A86 traverse Joinville-le-Pont en viaduc en longeant la Marne sur près de 2200 m, entre l'échangeur A4-A86 est et l'échangeur des Canadiens à l'ouest.

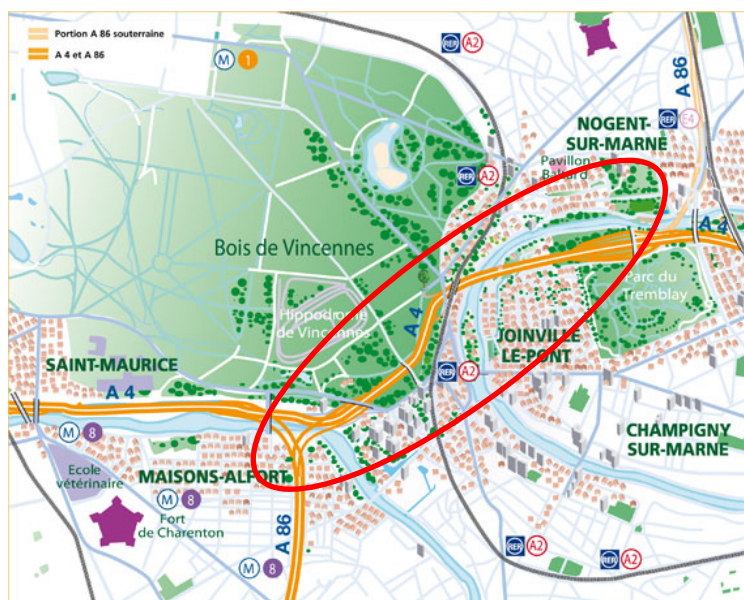


Figure 1-1 : Le tronc commun autoroutier A4-A86

Jusqu'à l'été 2005, on recensait plus de 10 heures par jour de congestion récurrente sur plus de 15 kilomètres. En attendant une éventuelle solution d'aménagement lourd concernant l'autoroute A86, l'alternative mise en place par la DIRIF réside dans une gestion dynamique des voies. La solution mise en œuvre consiste à ouvrir à la circulation, lors des périodes de forte demande, une voie auxiliaire située à droite de la chaussée et prise sur la bande d'arrêt d'urgence (BAU).

1.2. La configuration avant aménagement

Avant aménagement, le profil en travers n'était pas homogène pour les 2 sens de circulation. On trouvait de façon variable sur le linéaire :

- ✓ une bande dérasée de gauche (BDG) de largeur comprise entre 0.3 et 1.15 m
- ✓ 4 voies de circulation de largeur comprise entre 3 et 3.5 m

- ✓ une bande d'arrêt d'urgence (BAU) de largeur comprise entre 1 et 2 m.

1.3. Le site après aménagement

La largeur standard des voies de 3,50 mètres est réduite à 3 mètres ou 3,20 mètres. La nouvelle configuration de l'aménagement est la suivante.

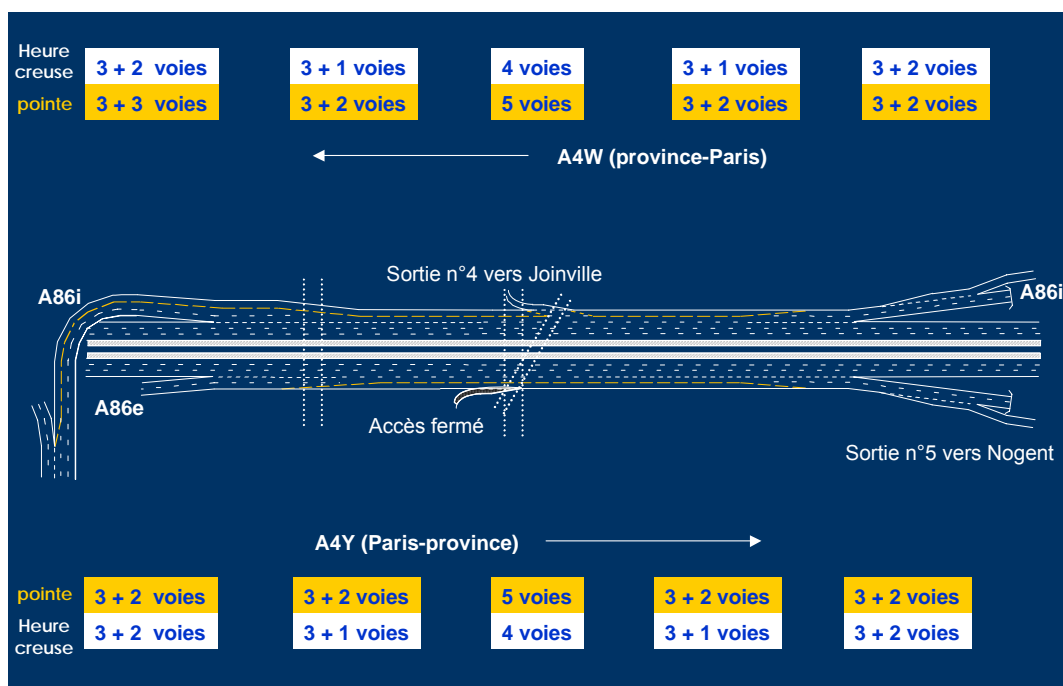


Figure 1-2 : Nouvelle configuration du tronçon commun A4-A86 après aménagement

On trouve donc de façon homogène sur le linéaire :

- ✓ 4 voies de circulation de largeur de 3 m ou de 3,2 m,
- ✓ Une voie auxiliaire, prise sur la bande d'arrêt d'urgence, d'une largeur de 3,0 m.

1.4. Les dispositifs

1.4.1. Les glissières mobiles d'affectation (GMA)

Des glissières mobiles d'affectation (GMA) sont installées à droite de la voie auxiliaire. Elles sont alignées lorsque la voie est ouverte. Au moment de la fermeture de la voie, la glissière pivote autour de son extrémité amont, jusqu'à constituer un biseau de rabattement occupant la presque totalité de la voie auxiliaire. Dans chaque sens de circulation, le premier dispositif rencontré est long de 69 mètres et les suivants de 25 mètres.



Source :
http://www.sytadin.equipement.gouv.fr/ensavoirplus/A4XA86/Le_projet.htm

Figure 1-3 : Glissière mobile d'affectation

1.4.2. Signalisation

Une signalisation verticale dynamique informe les usagers de l'ouverture ou de la fermeture de la voie et adapte la signalisation de direction à cette géométrie variable.

Pour souligner la différence d'usage par rapport à une voie de circulation ou une bande d'arrêt d'urgence, la voie auxiliaire est identifiée par un traitement particulier du marquage et des enrobés d'une couleur claire.



Figure 1-4 : Revêtements différents

1.4.3. Des mesures complémentaires d'accompagnement

Des mesures complémentaires d'accompagnement sont également mise en œuvre. Leur rôle est de fluidifier les zones en amont du tronc commun pour accroître les gains de temps : aménagement d'insertions sur la section courante et implantation de feux de régulation d'accès dynamique sur l'ensemble des bretelles d'insertion.

Les fonctions de sécurité sont renforcées grâce à 34 caméras de détection automatique des incidents (DAI). Ces caméras sont positionnées de façon à assurer une couverture totale de la zone.



Figure 1-5 : Vidéosurveillance du tronç commun (source DIRIF)

Enfin, quatre radars de contrôle des vitesses, installés sur l'autoroute A4, complètent le dispositif.

1.5. La stratégie d'exploitation

L'objectif de la voie auxiliaire est de traiter à la fois la congestion récurrente (excès de demande) et la congestion accidentelle (incidents, accidents, travaux perturbants). Une signalisation verticale dynamique, constituée de la superposition de panneaux à messages variables (PMV) et de signaux d'affectation de voie (SAV), avertit les usagers de l'ouverture ou de la fermeture de la voie auxiliaire. Les conditions d'ouverture et de fermeture sont asservies aux valeurs de vitesse et de taux d'occupation mesurées en amont et en aval du tronç commun.

Des panneaux d'information statiques rappellent aux usagers le caractère expérimental de la zone et décrivent le mode de fonctionnement des GMA.

Des panneaux d'information dynamique (PID) précisent, quelques centaines de mètres en amont de la zone, l'état de la voie : ouverte, fermée, ou fermeture en cours.

LES PRINCIPAUX IMPACTS SUR LE TRAFIC

Ce chapitre synthétise les principaux impacts de l'utilisation de la voie auxiliaire sur le trafic du tronc commun A4-A86. Pour plus de précisions, le lecteur pourra se reporter au document de base décrivant, avec détail, l'ensemble des résultats [Cohen, juin 2007].

2.1. La capacité selon la configuration

Les figures suivantes présentent les courbes vitesse-débit, pour chaque sens de circulation dans la configuration de référence *avant* correspondant à l'année 2003 et dans la configuration *après* pour l'année 2006.

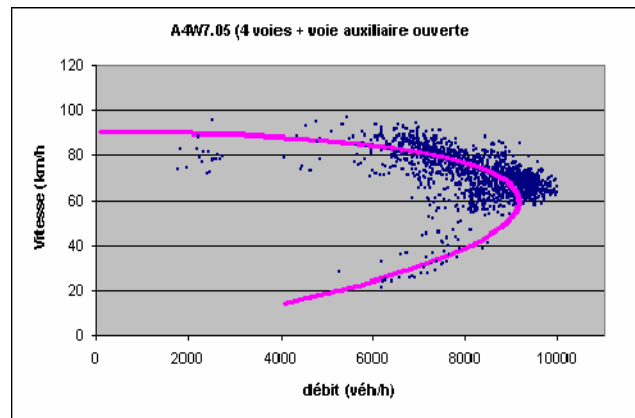
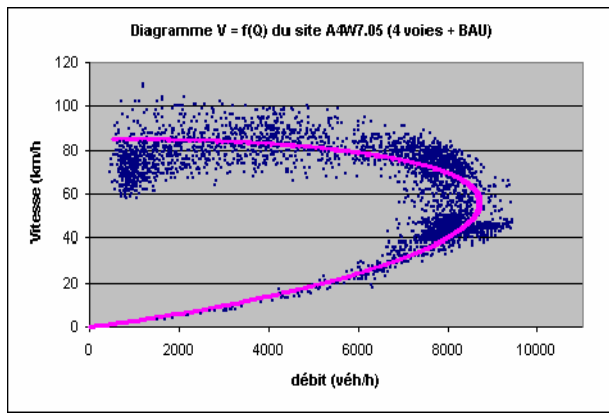


Figure -6 : Courbe vitesse-débit de la station A4W7.05, sens province-Paris, avant et après aménagement

Source : COHEN Simon (2007)

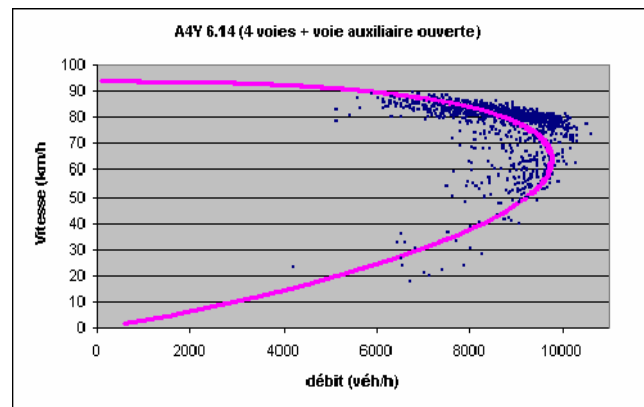
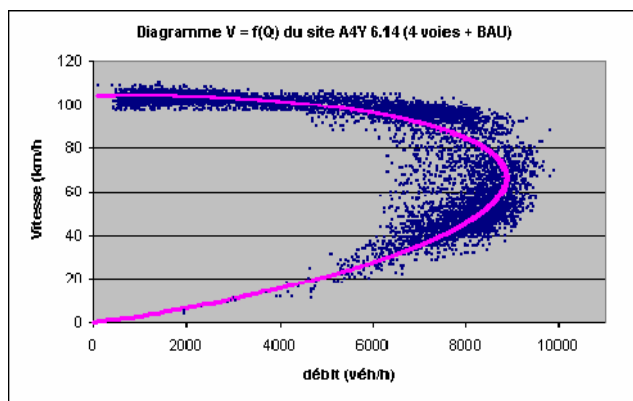


Figure 2-1 : Courbe vitesse-débit de la station A4Y6.14, sens Paris-province, avant et après aménagement

Les diverses estimations de capacité sont résumées dans le tableau ci-dessous, avec ou sans utilisation de la voie auxiliaire (VA).

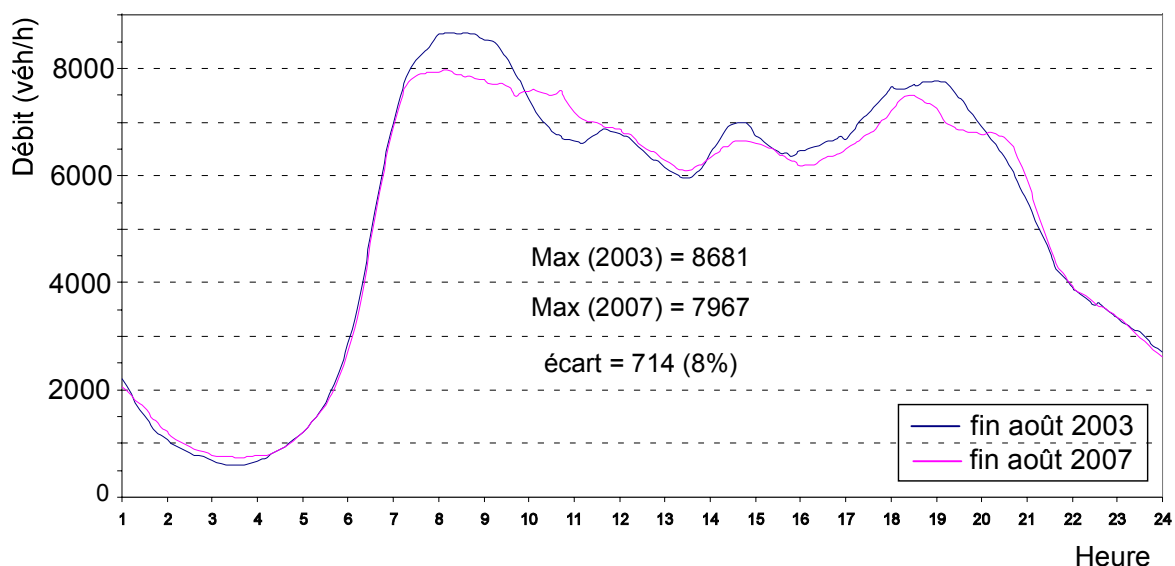
Capacité (véh/h)	2003	2006	2006	Écart (véh/h)
	4voies + BAU	4 voies + VA fermée	4 voies + VA ouverte	
A4 W vers Paris	8670	7970	9310	640
A4 Y vers province	8820	8100	9725	905

Tableau 2-1 : Capacité du tronc commun avant et après aménagement

Lorsque la voie auxiliaire est **ouverte**, les effets de son utilisation sont manifestés dans les 2 sens de circulation, bien que d'amplitude inégale :

- ✓ En direction de Paris, le gain de capacité observé les jours ouvrables sur le tronc commun est de 7,5 % environ, soit 640 véh/h. En 2003, la section à 4 voies avec BAU avait une capacité de l'ordre de 8670 véh/h. En 2006, la capacité obtenue avec la voie auxiliaire ouverte dépasse 9310 véh/h,
- ✓ Dans le sens Paris-Province, le gain est encore plus important : l'augmentation de capacité est de l'ordre de 10%, soit 905 véh/h. En 2003, la section à 4 voies avec BAU avait une capacité supérieure à 8820 véh/h. En 2006, la capacité atteinte avec la voie auxiliaire ouverte est de l'ordre de 9725 véh/h.

Lorsque la voie auxiliaire est **fermée** toute la journée, la capacité atteinte est inférieure à celle qui prévalait en 2003 dans la configuration antérieure, comme l'illustre la figure ci-dessous empruntée à la DIRIF. La réduction de la largeur des voies explique une partie de cet effet.



*Figure 2-2 : Profils comparatifs de trafic avec voie auxiliaire fermée.
Sens A4W (source DIRIF)*

L'écart de capacité entre les situations pour lesquelles la voie auxiliaire est ouverte ou fermée atteint 8% environ dans les 2 sens de circulation.

2.2. La vitesse moyenne d'itinéraire

L'analyse concerne plusieurs itinéraires empruntant le tronçon commun A4-A86 et situés dans sa zone d'influence. Il s'agit des itinéraires suivants, pour chaque sens de circulation :

- ✓ sur A4, de Bercy à Noisy-le-Grand
- ✓ sur A86 nord, de Rosny à A4
- ✓ sur A86 sud, de A4 à carrefour Pompadour.

La vitesse moyenne est définie par un ratio du type longueur/temps. Ce ratio correspond à la fraction du « nombre total de véh \times km effectués au nombre total de véh \times h passés en circulation ».

En vue d'une évaluation socio-économique future, on examine toute la période de 0h - 24h.

Les résultats de la comparaison avant/après sont les suivants.

itinéraire	Vitesse moyenne (km/h)	
	2003	2006
A4 W vers Paris	63	70
A4 Y vers province	74	77
A86 NE (Nord Extérieur)	40	38
A86 NI (Nord Intérieur)	44	47
A86 SE (Sud Extérieur)	41	40
A86 SI (Sud Intérieur)	59	62

Tableau 2-2 : Vitesses moyennes journalières par itinéraires

Ces éléments soulignent les améliorations obtenues sur l'itinéraire A4 dans les deux sens de circulation ainsi que sur l'A86 nord et sud dans le sens intérieur. En revanche, on observe une légère dégradation dans le sens extérieur sur A86 nord et A86 sud.

2.3. Analyse quantitative et indicateurs

Des indicateurs quantitatifs précisent les évolutions avant/après aménagement. Il s'agit du :

- ✓ volume de trafic, c'est-à-dire la longueur totale parcourue par les véhicules (véh \times km),
- ✓ temps total passé en circulation (véh \times h),
- ✓ volume d'encombrement. Cet indicateur qualifie l'ampleur des bouchons. Il correspond au produit des longueurs de réseau - ramenées à une voie et supportant un état de trafic qualifié de fortement saturé (vitesse \leq 30 km/h) - par la durée de saturation. Il est exprimé en h \times km.

La variation de ces indicateurs est indiquée en valeur absolue ou relative. Les tableaux suivants résument, par axe et par sens, l'évolution par rapport à la situation antérieure avant aménagement. L'impact résultant est donné, pour les jours ouvrables, les samedis et les dimanches, entre 0h et 24h.

Itinéraire	Jours ouvrables								
	Volume de trafic			Temps total passé			Encombrement		
	véh·km		variation	véh·h		variation	hx·km		variation
	2003	2006		2003	2006		2003	2006	
A4 W	1336250	1296266	-3,0%	21767	19564	-10,1%	112	80	-28,7%
A4 Y	1489060	1427375	-4,1%	20774	18518	-10,9%	40	21	-48,5%
A86 NE	464581	491526	5,8%	11381	12520	10,0%	93	124	33,8%
A86 NI	415124	423554	2,0%	8748	8606	-1,6%	52	41	-21,0%
A86 SE	461522	480614	4,1%	11725	10856	-7,4%	110	114	3,6%
A86 SI	487376	482050	-1,1%	7836	6618	-15,5%	20	24	18,3%
Ensemble	4653913	4601385	-1,1%	82231	76682	-6,8%	427	404	-5,5%

Tableau 2-3 : Variations absolues et relatives des indicateurs avant-après (plage 0h-24h), jours ouvrables

Itinéraire	Samedis								
	Volume de trafic			Temps total passé			Encombrement		
	véh·km		variation	véh·h		variation	hx·km		variation
	2003	2006		2003	2006		2003	2006	
A4 W	1309524	1209898	-7,6%	16354	14433	-11,7%	45	26	-42,0%
A4 Y	1402653	1316119	-6,2%	17047	16021	-6,0%	15	11	-30,0%
A86 NE	441313	468003	6,0%	8338	8614	3,3%	63	82	30,0%
A86 NI	418480	408840	-2,3%	7458	7394	-0,9%	29	27	-7,5%
A86 SE	467903	465520	-0,5%	8329	8282	-0,6%	8	9	17,8%
A86 SI	483091	498701	3,2%	6729	6417	-4,6%	8	2	-73,8%
Ensemble	4522964	4367081	-3,5%	64255	61161	-4,8%	168	157	-6,7%

Tableau 2-4 : Variations absolues et relatives des indicateurs avant-après (plage 0h-24h), samedis

Itinéraire	Dimanches								
	Volume de trafic			Temps total passé			Encombrement		
	véh·km		variation	véh·h		variation	h·km		variation
	2003	2006		2003	2006		2003	2006	
A4 W	1259516	1153968	-8,4%	16132	14286	-11,4%	50	37	-26,3%
A4 Y	1253342	1184052	-5,5%	14351	13571	-5,4%	13	6	-52,0%
A86 NE	441313	461146	4,5%	7019	7219	2,8%	41	46	10,0%
A86 NI	402380	394488	-2,0%	7458	6076	-18,5%	11	11	3,5%
A86 SE	441548	448872	1,7%	5808	5623	-3,2%	16	19	17,8%
A86 SI	443698	450189	1,5%	6602	6637	0,5%	3	1	-72,6%
Ensemble	4241797	4092715	-3,5%	57370	53412	-6,9%	135	120	-11,0%

Tableau 2-5 : Variations absolues et relatives des indicateurs avant-après (plage 0h-24h), dimanches

Pour la période 0h-24h et sur l'ensemble du réseau d'influence, on note plusieurs éléments intéressants issus de la comparaison avant/après :

- ✓ une baisse systématique du volume de trafic (en véh·km). Faible les jours ouvrables (-1,1%), cette baisse est nettement plus marquée (-3,5%) les samedis et dimanches.
- ✓ dans tous les cas, une diminution substantielle du temps total passé en circulation, en particulier les jours ouvrables et les dimanches (-7% environ).
- ✓ une réduction du volume d'encombrement, en particulier le week-end.

Ces divers résultats sont obtenus avec une durée moyenne d'utilisation de la voie auxiliaire de l'ordre de 5 h/jour en direction de Paris et de 4 h/jour dans le sens opposé.

CONSOMMATION ET ÉMISSIONS DE POLLUANTS

MÉTHODE DE CALCUL

Ce chapitre présente les principales caractéristiques des émissions polluantes par le trafic. Il décrit ensuite le processus de calcul de ces émissions, fondé sur le modèle COPERT III, utilisé dans le logiciel IMPACT-ADEME.

3.1. Caractéristiques des émissions polluantes

Les émissions dans l'air des véhicules motorisés utilisant des combustibles fossiles recouvrent plusieurs centaines de composés chimiques et complexes, qui persistent dans l'atmosphère que nous respirons sous forme de gaz, aérosols et particules.

Les polluants ou familles de polluants les mieux connus émis par ces véhicules motorisés sont, notamment :

- ✓ le monoxyde de carbone (CO),
- ✓ le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO₂),
- ✓ le dioxyde de soufre (SO₂),
- ✓ les particules fines (PM₁₀ dont PM₂₅),
- ✓ les oxydes d'azote (NO_x),
- ✓ de nombreux composés organiques volatiles (COV),
- ✓ le plomb (Pb).

3.1.1. Les principaux paramètres pour le calcul des émissions polluantes

Les émissions des voitures particulières dépendent fortement de la motorisation adoptée¹ et des conditions de circulation². En zone urbaine, les faibles vitesses, les vitesses plus ou moins régulières, les accélérations et les démarrages ont un impact considérable sur les émissions de polluants et la consommation d'énergie. La circulation se caractérise donc par une **vitesse moyenne** du flux et un **taux d'accélération** plus ou moins important³. Ces deux facteurs sont essentiels. Les vitesses moyennes lentes ou très lentes caractérisent généralement des conditions de circulation très perturbées, c'est-à-dire comportant des taux d'accélération très élevés. Les diagrammes ci-dessous illustrent ce concept.

¹ Par exemple, voiture particulière essence ou diesel, et catalysée ou non-catalysée.

² Par exemple, urbain ou autoroute, et fluide ou congestionné.

³ ADEME et CERTU (1999).

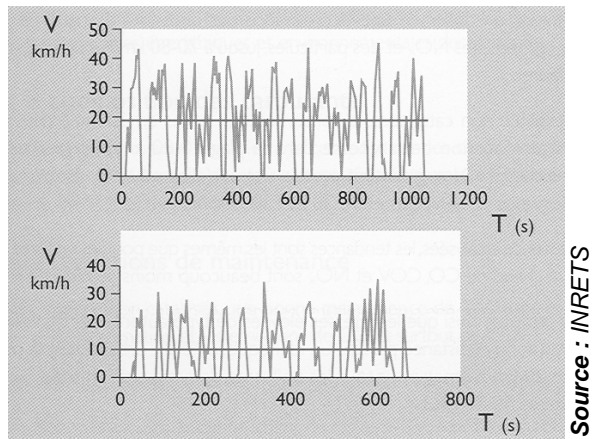


Figure 3-1 : Cycles de conduite urbaine, fluide (en haut) correspondant à une vitesse moyenne de 19 km/h, lent (en bas) correspondant à une vitesse moyenne de 10 km/h

A titre d'exemple, le modèle européen COPERT⁴ utilise la **vitesse moyenne** du flux de circulation comme paramètre principal caractérisant la circulation des véhicules pour évaluer leurs consommations et émissions de polluants. On constate que les émissions et les consommations unitaires sont très sensibles à la vitesse moyenne du flux rencontré.

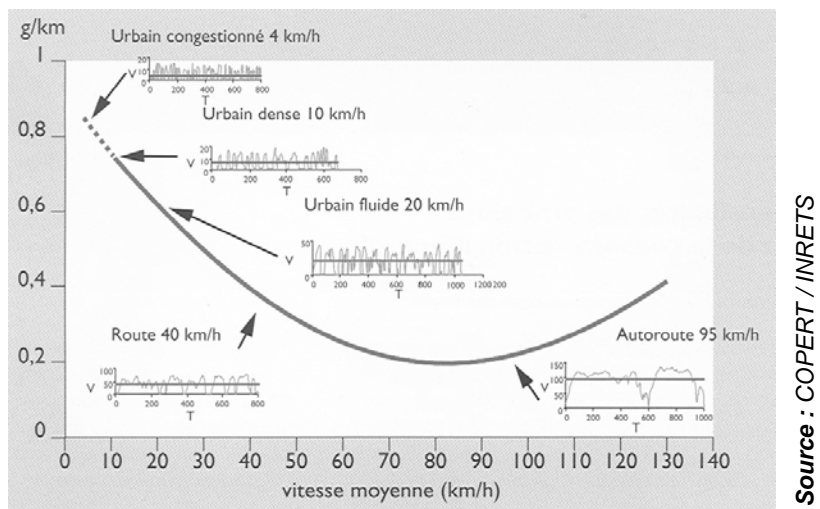


Figure 3-2 : Emission de NO_x à chaud d'un véhicule essence catalysé en fonction de la vitesse moyenne et profils types de circulation V=f(T)

Comme le montre le graphique ci-dessus, les faibles vitesses urbaines ainsi que les vitesses élevées de type autoroutier contribuent de façon importante aux émissions. À distance parcourue identique, un trafic urbain dont la plage de vitesse se situe entre 10 et 20 km/h émet, pour tous les polluants, davantage qu'un trafic fluide plus rapide dans la plage de vitesse 50-70 km/h.

3.1.2. Les autres paramètres (Réglementations et le carburant)

Les progrès technologiques en cours d'étude ou de mise en place tant sur les véhicules que sur les infrastructures sont facteurs d'amélioration du bilan de la circulation urbaine en terme de

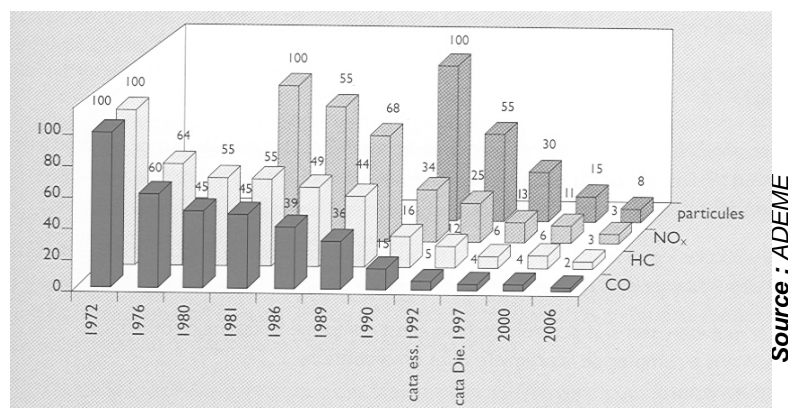
⁴ Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport. COPERT est une méthodologie européenne permettant le calcul des émissions du transport routier. Actuellement, le COPERT IV est disponible.

consommation d'énergie et d'effet de serre, de pollution et de bruit dans un avenir plus ou moins proche. Ces progrès sont souvent poussés par la réglementation. Les quantités de polluants émises par les véhicules sont fortement liées aux valeurs limites d'émissions imposées par la réglementation en vigueur.

3.1.2.1. Limitation des émissions des véhicules neufs

Des valeurs limites d'émission par échappement et évaporation des véhicules neufs, mesurées à l'homologation, sont fixées par différentes directives européennes pour le CO, les NO_x, les HC et les particules. Introduites en Europe depuis 1972, elles deviennent de plus en plus sévères au cours du temps.

Les dernières directives en vigueur ont introduit le pot catalytique à 3 voies sur les véhicules particuliers neufs mis en circulation à compter de 1993 ainsi que le pot d'oxydation sur les véhicules particuliers à moteur diesel neufs mis en circulation depuis 1997.



Source : ADEME

Figure3 -3 : Evolution des normes d'émissions des voitures particulières en Europe pour une voiture de cylindrée moyenne (base : 100 g/km à la première réglementation)

Il résulte de ces réglementations une très nette amélioration des émissions à l'échappement des véhicules particuliers essence, dont les émissions de CO, NO_x, et HC, à l'homologation, ont été **divisées par 10** environ depuis 1972.

Actuellement la réglementation européenne des émissions est mise en place et dite EURO IV. Par exemple, l'émission de particules émise par les voitures diesel des niveaux maximum d'émission est de 0,025 g/km dès 2005, alors que le niveau maximum, applicable pour la première fois à toutes les VP diesel neuves le 1^{er} octobre 1990, était de 0,34 g/km.

Les émissions des véhicules utilitaires légers (VUL) neufs sont également réglementées depuis 1994, avec des valeurs plus sévères depuis fin 1997. Les nouvelles directives européennes concernant les véhicules légers étapes 2000 et 2005 s'appliquent aussi aux VUL.

Les émissions des poids lourds (PL) sont réglementées depuis 1993, la dernière étape de réduction des valeurs limites d'émissions étant entrée en vigueur depuis octobre 1996. De nouvelles limites d'émission sont en discussion pour les poids lourds.

Enfin, l'établissement d'accords volontaires entre constructeurs automobiles et pouvoirs publics peut accélérer la mise sur le marché de solutions performantes ; c'est le cas de l'accord volontaire signé par les constructeurs européens sur la réduction des émissions de

CO₂ des véhicules mis sur le marché : 140 g/km en moyenne en 2008, 120 g/km en 2015 au lieu de 178g/km actuellement pour la moyenne de leurs ventes.

3.1.2.2. Contrôle des véhicules en circulation

La remise en état des véhicules en service, présentés au contrôle technique et trop polluants, a été rendue obligatoire en France dès octobre 1994, pour les véhicules à essence non équipés d'un pot catalytique, et dès janvier 1996 pour les véhicules diesel. Les véhicules à essence équipés d'un pot catalytique sont soumis aux mêmes exigences depuis le début 1997.

Le décret n° 98-703 du 17 août 1998 a renforcé les modalités du contrôle technique définies par les articles R.119-1 et R.120 du code de la route pour ce qui concerne les véhicules légers (PTAC inférieur à 3,5 tonnes).

Tous les véhicules légers de PTAC < 3,5 t sont soumis à contrôle technique (voitures particulières et véhicules utilitaires légers) :

- ✓ à chaque mutation, sauf si le contrôle technique est conforme et de moins de 6 mois,
- ✓ tous les 4 ans à compter de la première mise en circulation,
- ✓ puis tous les 2 ans.

En outre les véhicules utilitaires légers « doivent faire l'objet, dans les 2 mois précédant l'expiration d'un an après chaque visite technique réalisée à partir du 1^{er} janvier 1999, d'une visite complémentaire portant sur le contrôle des émissions polluantes ».

3.1.2.3. Amélioration des carburants

La composition des carburants traditionnels est modifiée selon un processus en plusieurs étapes (2000 et 2005). La tendance générale est à la réduction de la teneur en soufre, afin de permettre l'utilisation de certains dispositifs de post-traitement pour les NO_x et particules, ainsi que la modification d'autres teneurs afin de limiter les émissions toxiques.

En France, la teneur en plomb est passée de 0,4 g/l avant 1989 à 0,13 g/l en 1991. En 2000, seule l'essence « sans plomb » avec une teneur limitée à 0,005 g/l est autorisée.

L'Union européenne limite la teneur en benzène à 5% en volume dans les essences depuis 1996. En France, cette teneur est actuellement inférieure à 3% en moyenne. Elle est abaissée à 1% en 2000.

La teneur en soufre du gazole est passée de 3000 à 2000 ppm dès le 1/10/1994 et de 2000 à 500 ppm depuis le 1/10/1996. A partir de l'an 2000, cette teneur est abaissée dans le gasoil à 350 ppm, puis à 50 ppm en 2005. Pour l'essence, la limite actuelle est de 50 ppm.

La limite maximale en volume d'aromatiques dans l'essence était 42% depuis 2000 et actuellement 35% depuis 2005.

3.1.2.4. Les dispositions techniques de la loi sur l'air

La loi sur l'air (30 décembre 1996) est porteuse de mesures techniques incitant à l'usage de véhicules ou carburants peu polluants ou au renouvellement des parcs de véhicules :

« Les véhicules doivent être construits, commercialisés, exploités, utilisés, entretenus et, le cas échéant, réparés de façon à [...] minimiser la consommation d'énergie [...] les émissions de polluants, notamment de dioxyde de carbone » (article 24 de la loi sur l'air).

Les véhicules automobiles font l'objet d'une identification fondée sur leur contribution à la limitation de la pollution atmosphérique (pastille verte). Les véhicules ainsi identifiés peuvent notamment bénéficier de conditions de circulation et de stationnement privilégiées. Cette identification a été instituée par l'article 24-II de la loi sur l'air et précisée par le décret n°98-704 du 17 août 1998 et vise les véhicules particuliers et utilitaires légers, catalysés pour les véhicules à essence, avec pot d'oxydation pour les diesels, électriques, au GPL et au GNV, ainsi que les motorisations hybrides.

3.2. Le modèle COPERT et le logiciel IMPACT-ADEME

Depuis quelques décennies, de nombreux travaux de recherche ont été entrepris pour l'évaluation de la consommation et des émissions réelles des véhicules routiers. Une bibliothèque de cycles cinématiques représentatives des conditions de circulation réelles a pu être constituée à partir de mesures embarquées des vitesses et accélérations instantanées. Pour chaque véhicule testé, la consommation et les quantités de chaque polluant émis ont été prélevées et mesurées.

Ces données ont permis d'identifier de nombreux facteurs influençant les émissions polluantes, comme par exemple :

- ✓ la cinématique du parcours
- ✓ la vitesse moyenne
- ✓ l'accélération
- ✓ la motorisation essence/diesel, l'âge et la taille du véhicule,
- ✓ la température du moteur et du catalyseur
- ✓ l'équipement, notamment la climatisation
- ✓ la composition du carburant
- ✓ la maintenance,
- ✓ les conditions extérieures : température ambiante et pression atmosphérique
- ✓ la pente de la voie
- ✓ l'altitude.

Parallèlement, inspiré par ces résultats, les émissions de polluants ont été mesurées sur un grand nombre de véhicules représentatifs du parc actuel français ou européen en terme de modèles, cylindrées, âges et kilométrages, sur différents cycles et dans différentes conditions, notamment « moteur chaud » et « moteur froid ». Les résultats de ces campagnes de mesures expérimentales ont permis d'élaborer une importante base de données, exclusivement dédiée aux « émissions des véhicules en usage réel ».

Cette base de données « émissions des véhicules en usage réel », alimentée par plusieurs programmes de recherche nationaux et européens fait l'objet d'analyses numériques qui permettent d'établir des lois décrivant les émissions des véhicules en conditions de circulation réelle, pour différents segments du parc de véhicules en service.

La synthèse de ces travaux a fait l'objet du projet de recherche MEET⁵, dont les résultats ont largement contribué à l'élaboration de la méthodologie COPERT⁶.

Conçue comme un outil de réalisation d'inventaires annuels à l'échelle des territoires nationaux européens, la méthodologie COPERT peut, dans certaines limites, être appliquée à des résolutions spatio-temporelles plus fines (1 heure, 1 km²) et ainsi permettre d'élaborer des inventaires d'émission à l'échelle d'un tronçon routier, ou du réseau routier d'une zone ou d'une agglomération.

Avec les résultats de ces études, l'ADEME⁷ a développé un outil de calcul des émissions réelles. Il s'agit du logiciel IMPACT-ADEME⁸ (version 2.0) dont l'utilisation est adaptée à la situation française.

Cependant, compte tenu des connaissances actuelles sur l'évolution des polluants dans l'atmosphère et sur leurs effets sur l'environnement et la santé, il n'est pas possible d'intégrer tous les polluants dans les bilans d'émissions du trafic routier. Le logiciel IMPACT-ADEME alors retient prioritairement les résultats avérés et les normes imposées par la loi.

L'outil s'appuie sur deux principales sources de données⁹ :

- ✓ une base de données d'émissions unitaires et de consommation, reposant sur la méthodologie COPERT III, pour chaque catégorie de véhicules du parc français susceptibles d'être présents sur la voirie aujourd'hui et dans les années proches,
- ✓ un jeu de données sur la structure annuelle du parc français de véhicules de 1995 à 2025 élaboré par le Laboratoire Transports et Environnement (LTE) de l'INRETS.

Ces deux ensembles de données permettent, en pondérant les émissions de chaque catégorie de véhicules par **la moyenne** de son taux de présence dans la circulation, de calculer les émissions unitaires **moyennes** à un horizon donné.

En pratique, à partir de ces contextes, le logiciel IMPACT-ADEME calcule des émissions des véhicules du trafic routier en conditions réelles de circulation pour plusieurs catégories de polluants, les polluants de base (CO, NOx, PM...), les gaz à effet de serre (CO₂), les métaux lourds et les autres polluants émis, mais aussi la consommation de carburant en configuration urbaine et/ou interurbaine.

La figure ci-dessous illustre la méthodologie employée dans le logiciel.

⁵ Methodologies for Estimating air pollutant Emissions for Transport.

⁶ Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport. Le COPERT est une méthodologie européenne permettant le calcul des émissions du transport routier. Cette méthodologie a été développée dans le but d'aider les experts nationaux à estimer la pollution due au trafic routier dans les inventaires d'émissions nationaux. La version utilisée dans le logiciel IMPACT-ADEME version 2.0, est COPERT III, a été soutenue et financée par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE). Actuellement, le COPERT IV est disponible.

⁷ L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

⁸ Le programme de recherche européen ARTEMIS, actuellement en cours de réalisation, permettra une mise à jour importante des connaissances sur les émissions réelles du transport et leur modélisation. Mais cette version ne comporte pas cette étude jusqu'à aujourd'hui.

⁹ Guide de l'utilisateur de logiciel IMPACT-ADEME

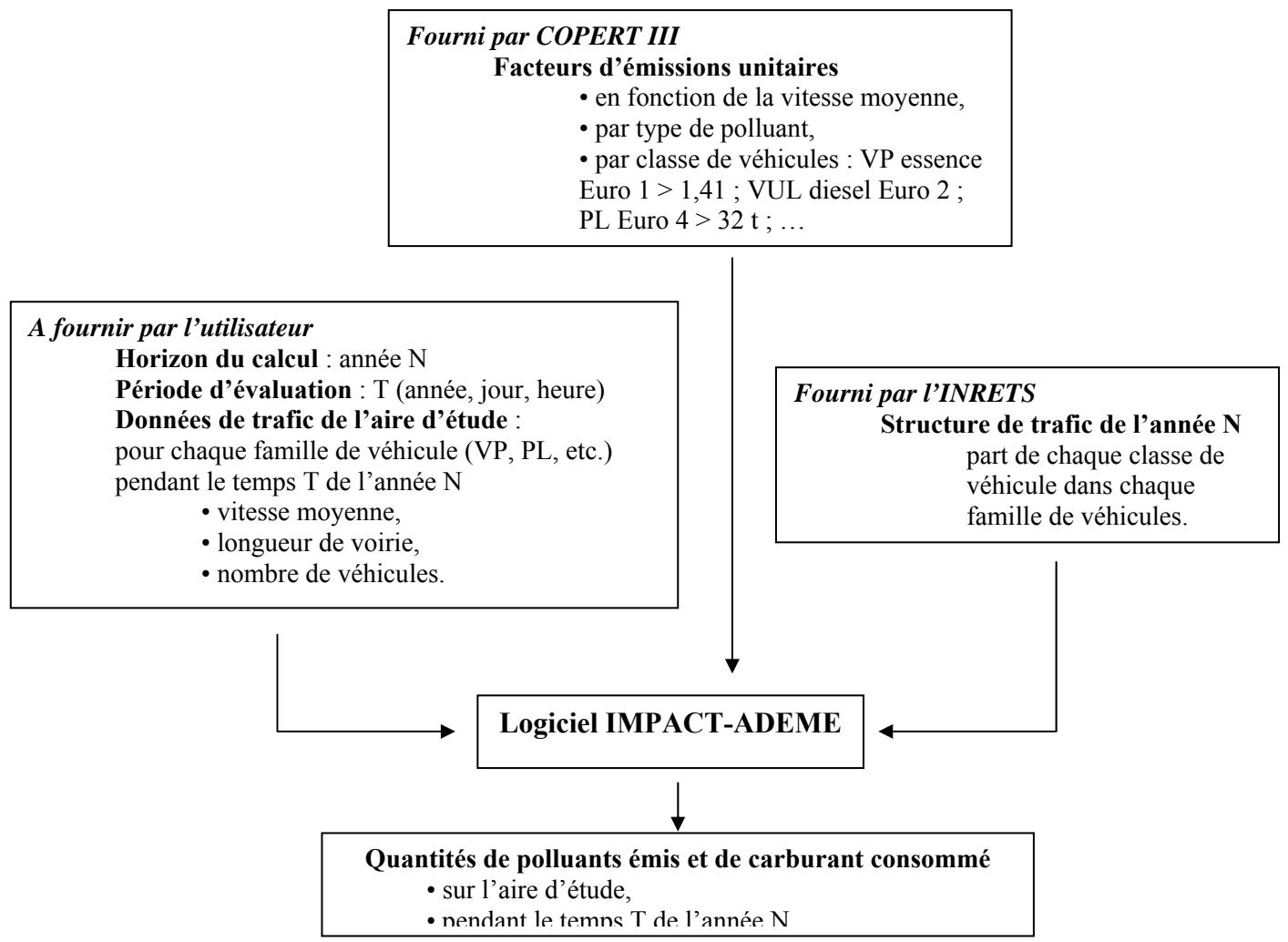


Figure 3-4 : Méthodologie d'évaluation de la consommation et des émissions de polluants mise en œuvre dans le logiciel IMPACT-ADEME (version 2.0)

IMPACT DE LA VOIE AUXILIAIRE SUR LES ÉMISSIONS

Ce chapitre présente l'évaluation de l'impact environnemental de l'utilisation de la voie auxiliaire sur le tronç commun A4-A86 et sur son réseau d'influence. L'impact se limite aux seules émissions de polluants et à la consommation d'énergie.

Les données utilisées sont synthétisées dans les tableaux du chapitre Impact sur le trafic. La méthode de calcul s'appuie sur le logiciel IMPACT-ADEME (version 2.0).

4.1. Les données d'entrée

L'étude avant/après permet de quantifier les variations des émissions de polluants et de consommation de carburant. Ce calcul s'effectue à l'aide de IMPACT-ADEME. Rappelons que le calcul s'effectue pour l'ensemble du réseau d'influence du tronç commun A4-A86.

Les principales informations nécessaires sont :

- le nombre de véhicules, si possible, par catégorie
- la vitesse moyenne
- et la longueur des voies du réseau considéré.

Il est utile de différencier le type de véhicules avec les 2 catégories (VL) et (PL). Les résultats issus du chapitre 2, complétés par les données relatives aux proportions de (PL) fournies par la DIRIF, conduisent aux tableaux journaliers suivants.

Jours ouvrables			Vitesse moyenne 24h (km/h)		Nombre de véhicules		Nombre de poids lourds		Nombre de véhicules légers	
axes	Longueur (km)	% PL	2003	2006	2003	2006	2003	2006	2003	2006
A4 W	14	2,10%	61	66	95446	92590	2004	1944	93442	90646
A4 Y	14	7,90%	72	77	106361	101955	8403	8054	97958	93901
A86 NE	7,3	2,10%	41	39	63641	67332	1336	1414	62305	65918
A86 NI	7,3	7,90%	47	49	56866	58021	4492	4584	52374	53437
A86 SE	6	2,10%	39	44	76920	80102	1615	1682	75305	78420
A86 SI	6	7,90%	62	73	81229	80342	6417	6347	74812	73995

Tableau 4-1 : Données d'entrée pour IMPACT-ADEME, jours ouvrables

Samedis			Vitesse moyenne 24h (km/h)		Nombre de véhicules		Nombre de poids lourds		Nombre de véhicules légers	
axes	Longueur (km)	% PL	2003	2006	2003	2006	2003	2006	2003	2006
A4 W	14	2,10%	80	84	93537	86421	1964	1815	91573	84606
A4 Y	14	7,90%	82	82	100190	94009	7915	7427	92275	86582
A86 NE	7,3	2,10%	53	54	60454	64110	1270	1346	59184	62764
A86 NI	7,3	7,90%	56	55	57326	56005	4529	4424	52797	51581
A86 SE	6	2,10%	56	56	77984	77587	1638	1629	76346	75958
A86 SI	6	7,90%	72	78	80515	83117	6361	6566	74154	76551

Tableau 4-2 : Données d'entrée IMPACT-ADEME, samedis

Dimanches			Vitesse moyenne 24h (km/h)		Nombre de véhicules		Nombre de poids lourds		Nombre de véhicules légers	
Axes	Longueur (km)	% PL	2003	2006	2003	2006	2003	2006	2003	2006
A4 W	14	2,10%	78	81	89965	82426	1889	1731	88076	80695
A4 Y	14	7,90%	87	87	89524	84575	7072	6681	82452	77894
A86 NE	7,3	2,10%	63	64	60454	63171	1270	1327	59184	61844
A86 NI	7,3	7,90%	54	65	55121	54039	4355	4269	50766	49770
A86 SE	6	2,10%	76	80	73591	74812	1545	1571	72046	73241
A86 SI	6	7,90%	67	68	73950	75032	5842	5928	68108	69104

Tableau 4-3 : Données d'entrée pour IMPACT-ADEME, dimanches

4.2. Les émissions journalières de polluants

Nous nous intéressons aux principaux polluants que sont le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x) et les autres polluants comme le dioxyde de soufre (SO₂), les particules fines (PM₁₀ dont PM_{2,5}) et les nombreux composés organiques volatiles (COV).

Gramme (g)	Jours ouvrables		
	2003	2006	Variation
CO	4 006 416	2 446 907	-38,93%
NO _x	3 843 176	3 075 604	-19,97%
SO ₂	139 653	21 082	-84,90%
Particules	237 589	163 832	-31,04%
COV	670 957	400 771	-40,27%

Tableau 4-4 : Variation des émissions polluantes, jours ouvrables

	Samedis		
Gramme (g)	2003	2006	Variation
CO	3 254 355	2 043 026	-37,22%
NO _x	3 651 354	2 885 019	-20,99%
SO ₂	131 391	19 504	-85,16%
Particules	231 969	160 298	-30,90%
COV	544 800	336 813	-38,18%

Tableau 4-5 : Variation des émissions polluantes, samedis

	Dimanches		
Gramme (g)	2003	2006	Variation
CO	2 954 836	1 766 110	-40,23%
NO _x	3 413 514	2 660 837	-22,05%
SO ₂	122 868	17 978	-85,37%
Particules	219 805	150 393	-31,58%
COV	486 126	292 796	-39,77%

Tableau 4-6 : Variation des émissions polluantes, dimanches

La variation journalière relative avant/après des émissions est précisée ci-dessous.

Variation moyenne avant/après	CO	NO _x	SO ₂	Particules	COV
	-38,89%	-20,44%	-85,01%	-31,11%	-39,94%

Tableau 4-7 : Variation moyenne

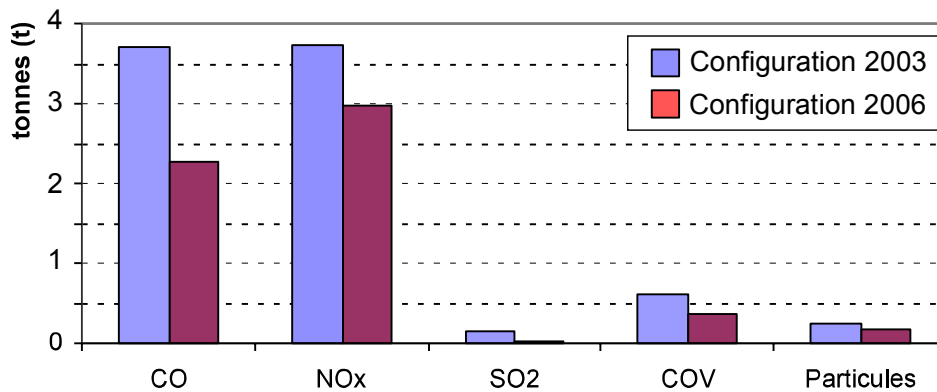


Figure 4-1 : L'évolution journalière des émissions polluantes sur le réseau d'influence du TCA4-A86

Les résultats ci-dessus soulignent, entre autres, la performance et l'efficacité de l'utilisation dynamique de la voie auxiliaire. Entre les configurations 2003 et 2006, toutes les catégories d'émissions polluantes diminuent. La réduction va de 20% pour les oxydes d'azote à plus de 85% pour le dioxyde de soufre.

4.3. Les gaz à effet de serre

IMPACT-ADEME permet de calculer la valeur équivalente en CO₂ à partir des 3 gaz (CO₂, CH₄, N₂O). Les tableaux suivants synthétisent les variations avant/après affectant les gaz à effet de serre.

Gramme (g)	Jours ouvrables		
	2003	2006	Variation
CO ₂	861 662 872	826 511 024	-4,08%
CH ₄	47 713	32 606	-31,66%
N ₂ O	110 815	113 460	2,39%
équivalent CO ₂	897 017 496	862 368 344	-3,86%

Tableau 4-8 : Variation des gaz à effet de serre, jours ouvrables

Gramme (g)	Samedis		
	2003	2006	Variation
CO ₂	802 808 936	764 858 792	-4,73%
CH ₄	38 370	28 089	-26,79%
N ₂ O	93 770	93 437	-0,36%
équivalent CO ₂	832 683 416	794 414 040	-4,60%

Tableau 4-9 : Variation des gaz à effet de serre, samedis

Gramme (g)	Dimanches		
	2003	2006	Variation
CO ₂	749 256 776	705 142 816	-5,89%
CH ₄	35 065	25 706	-26,69%
N ₂ O	87 906	87 537	-0,42%
équivalent CO ₂	777 243 912	732 819 216	-5,72%

Tableau 4-10 : Variation des gaz à effet de serre, dimanches

Le bilan est précisé dans le tableau ci-dessous.

Variation moyenne	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	équivalent CO ₂
		-4.45%	-30.38%	1.63%

Tableau 4-11 : Variation moyenne des gaz à effet de serre

Le bilan avant/après se traduit donc par une diminution de 4,25% des émissions de gaz à effet de serre.

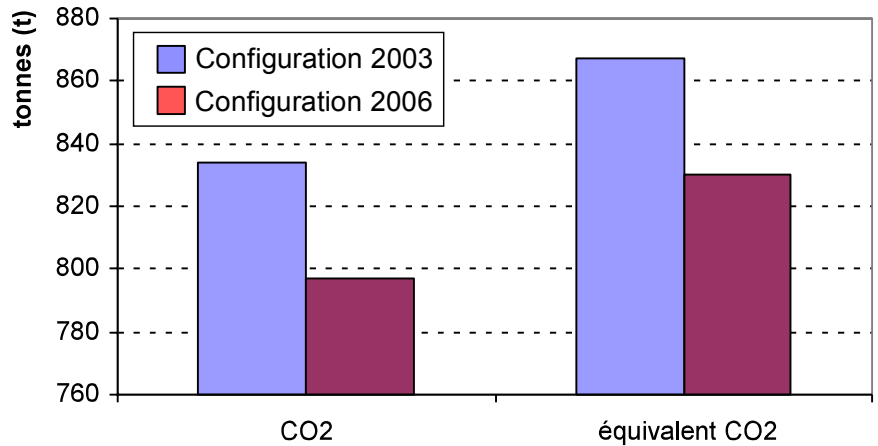


Figure 4-2 : L'évolution de CO₂ et d'équivalent CO₂

4.4. La consommation de carburant

Avec la même approche que celle utilisée précédemment pour les émissions de polluants, on illustre dans la figure suivante la diminution de la consommation de carburant résultant de l'utilisation dynamique de la voie auxiliaire.

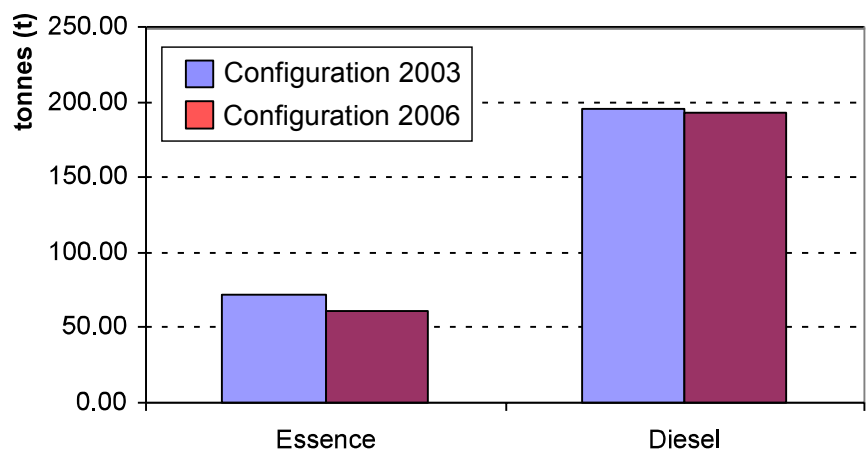


Figure 4-3 : Evolution journalière de la consommation de carburant sur le réseau d'influence du tronç commun A4-A86

Avec la densité de chaque catégorie (0,85 kg/l pour le diesel et 0,75 kg/l pour l'essence), on peut exprimer les variations des volumes de carburant en litres (l).

Consommation de carburant	Jours ouvrables			Samedis			Dimanches		
	essence	diesel		essence	diesel		essence	diesel	
Type de véhicules	VL	VL	PL	VL	VL	PL	VL	VL	PL
Variation (kg)	-10 934	391	-1 273	-9 724	-1 103	-1 723	-10 018	-2 196	-2 284
Variation (l)	-14 579	460	-1 498	-12 966	-1 298	-2 027	-13 358	-2 584	-2 687

Tableau 4-12 : Variation journalière avant/après de consommation de carburant

La baisse de consommation journalière moyenne avant/après atteint 15% environ pour les véhicules à essence et 1% environ pour le diesel.

4.5. Conclusion

Les divers résultats présentés dans ce chapitre soulignent l'évolution positive sur l'environnement ressortant de la comparaison entre 2003 et 2006. Les principales émissions de polluants et de gaz à effet de serre tout comme la consommation d'énergie diminuent.

Cette réduction provient principalement de l'amélioration de la vitesse moyenne résultant de l'utilisation de la voie auxiliaire mais aussi, dans une moindre mesure, de l'effet de la réglementation, de l'évolution du parc et de l'amélioration des carburants entre les années 2003 et 2006.

ÉLÉMENTS RELATIFS AU BRUIT

Le bruit des transports constitue une nuisance fortement ressentie par les riverains des grandes infrastructures et sa prise en compte dans les études environnementales devient essentielle. Dans la première partie du chapitre, on rappelle quelques caractéristiques du bruit dû au trafic routier. Puis, dans la seconde partie, on précise l'environnement sonore aux abords du tronc commun à partir de campagnes de mesures acoustiques. Ces campagnes *antérieures* de mesure permettent de valider un modèle de calcul. La formulation permet d'estimer la variation avant/après résultant des aménagements effectués sur le tronc commun A4-A86.

5.1. Quelques caractéristiques du bruit

5.1.1. Définition et catégories

Le bruit est dû à une variation de la pression régnant dans l'atmosphère ; il peut être caractérisé par sa fréquence (grave, médium, aiguë) et par son amplitude – ou niveau de pression acoustique – exprimées en dB.

Pour faciliter son étude, on divise souvent le bruit en trois catégories :

- ✓ Bruit ambiant : il s'agit du bruit total existant dans une situation donnée, pendant un intervalle de temps donné. Il est composé des bruits émis par toutes les sources proches ou éloignées,
- ✓ Bruit particulier : c'est une composante du bruit ambiant qui peut être identifiée spécifiquement par des analyses acoustiques (analyse fréquentielle, spatiale, étude de corrélation...) et peut être attribuée à une source d'origine particulière,
- ✓ Bruit résiduel : c'est la composante du bruit ambiant lorsqu'un ou plusieurs bruits particuliers sont supprimés.

5.1.2. Les sources de bruit d'un véhicule routier

Les deux sources principales de bruit d'un véhicule routier sont le groupe motopropulseur dans son ensemble et le contact pneumatiques / chaussée¹⁰.

	Véhicules légers		Poids lourds	
	En ville	Sur route	En ville	Sur route
Groupe motopropulseur	90 à 95 %	20 à 70 %	95 %	40 à 80 %
Contact pneumatiques/chaussée	5 à 10 %	30 à 80%	5 %	20 à 60 %

Tableau 5-1 : Part des sources de bruit dans le bruit émis, selon le type de véhicule et les conditions de circulation (Source : INRETS)

¹⁰ ADEME et CERTU (1999).

Si l'on regarde plus précisément, jusqu'à **60 km/h** (< 60 km/h), pour les véhicules légers, c'est essentiellement le bruit d'origine mécanique qui domine¹¹. Au-delà de **60 km/h** (> 60 km/h), le bruit généré par les véhicules est essentiellement lié au contact des pneumatiques avec la chaussée. Le schéma ci-dessous illustre la variation de ces différentes sources de bruit en fonction de la vitesse.

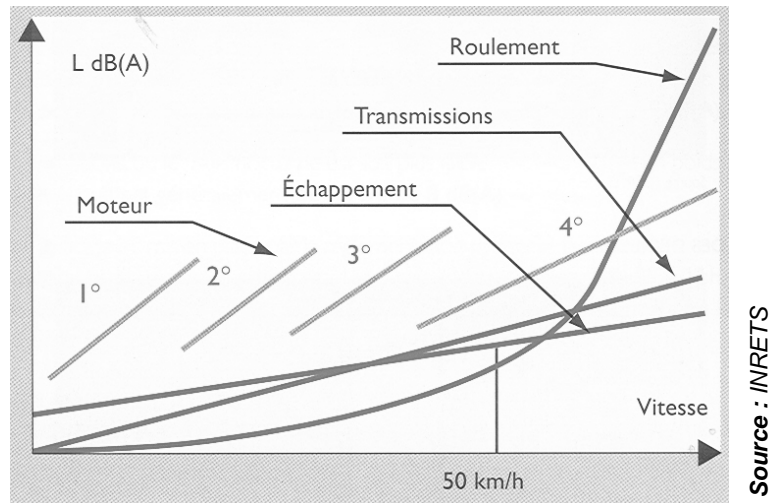


Figure 5-1 : Contribution des sources de bruit d'un véhicule selon sa vitesse

5.1.3. Indicateur de base du bruit du trafic

En matière de transports terrestres, le bruit émis dans l'environnement est caractérisé par un indicateur énergétique prenant en compte à la fois **le niveau du bruit et la durée de l'exposition**. C'est l'indicateur L_{Aeq} , dont l'utilisation est répandue de façon assez générale dans de nombreux pays.

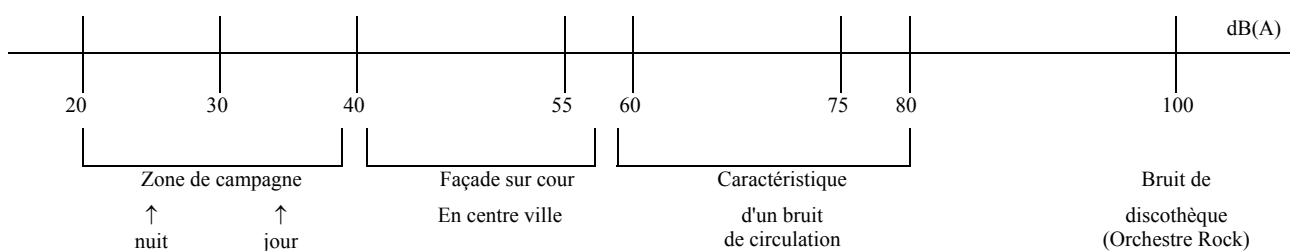


Figure 5-2 : Echelle des niveaux de bruit

Comme le bruit d'une voirie est évidemment fluctuant d'un instant à l'autre, le L_{Aeq} est le niveau sonore qui, s'il était resté constant tout au long de la période considérée, aurait donné la même énergie acoustique que le bruit fluctuant de la voirie. Il est exprimé en dB(A) ¹², unité prenant en compte la sensibilité de l'oreille humaine¹³.

¹¹ Toutefois, il a été constaté une efficacité de la mise en place d'un revêtement peu bruyant sur certaines voiries urbaines, notamment lorsque le revêtement d'origine était plutôt bruyant.

¹² dB(A) où A est un filtre caractéristique des particularités fréquentielles de l'oreille.

¹³ L'oreille humaine a une sensibilité très élevée, puisque le rapport entre un son juste audible ($2 \cdot 10^{-5}$ Pascal), et un son douloureux (20 Pascal) est de l'ordre de 1 000 000. L'échelle usuelle pour mesurer le bruit est donc une

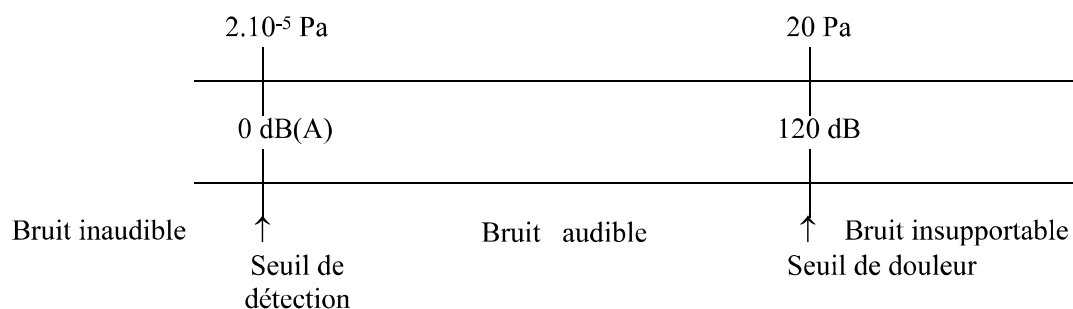


Figure 5-3 : Plage de sensibilité de l'oreille

En référence aux textes réglementaires¹⁴ et afin de prendre en compte les possibilités de gêne nocturne, le L_{Aeq} est évalué sur la période allant de 6h à 22h pour le jour et de 22h à 6h pour la nuit. Autrement dit, les indicateurs mis en place par la réglementation prennent bien en compte l'ensemble des caractéristiques du bruit routier, en introduisant une valeur de L_{Aeq} diurne, de 6h à 22h et une valeur nocturne de 22h à 6h.

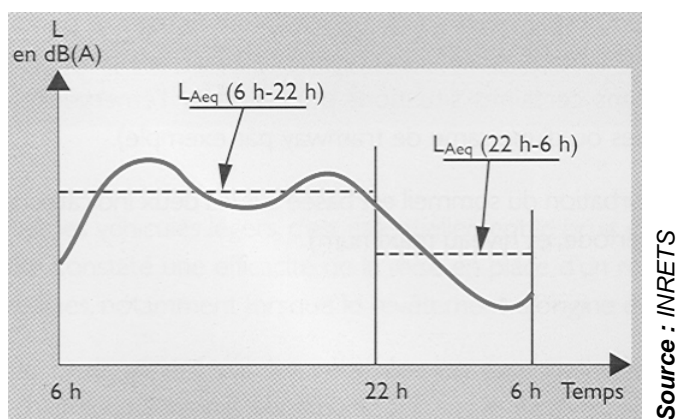


Figure 5-4 : Variation horaire typique du niveau sonore du trafic au cours d'une journée

Le tableau ci-dessous synthétise les critères d'ambiance sonore introduits par les réglementations :

Type de zone	Bruit ambiant existant avant travaux toutes sources confondues (en dB(A))	
	$L_{Aeq}(6 h - 22 h)$	$L_{Aeq}(22 h - 6 h)$
Modérée	< 65	< 60
Modérée de nuit	≥ 65	< 60
Non modérée	< 65	≥ 60
	≥ 65	≥ 60

Tableau 5-2 : Critère d'ambiance sonore

échelle logarithmique. Par exemple, le doublement de l'intensité sonore, due à un doublement du trafic, se traduit par une augmentation de 3 dB(A) du niveau de bruit ($60 \text{ dB(A)} + 60 \text{ dB(A)} = 63 \text{ dB(A)}$). Si deux niveaux de bruit sont émis simultanément par deux sources sonores, et si le premier est supérieur au second d'au moins 10 dB(A), le niveau sonore résultant est égal au plus grand des deux ($60 \text{ dB(A)} + 70 \text{ dB(A)} = 70 \text{ dB(A)}$). Le bruit le plus faible est alors masqué par le plus fort.

¹⁴ l'Arrêté du 5 mai 1995 et la Circulaire du 12 décembre 1997.

D'autres indicateurs peuvent également être utilisés en complément du L_{Aeq} , notamment le niveau sonore maximum, L_{Amax} . C'est le niveau de bruit maximum enregistré pendant un laps de temps donné. Il est notamment utilisé pour caractériser le bruit « au passage » d'un véhicule. Par exemple, l'analyse fine de la perturbation du sommeil est basée sur les deux indicateurs L_{Aeq} et L_{Amax} (niveau de bruit global, sur la période, et niveau maximum).

À titre d'exemple, le tableau suivant montre le rapport entre le débit et le L_{Aeq} :

TYPE DE SITUATION	Trafic horaire moyen en véh/h	L_{Aeq} en dB(A)	RÉACTION DES RIVERAINS
Bord du Périphérique de Paris et autoroute en Île de France	7 000	80	Plaintes très vives – Procès
Artère principale d'une grande ville : Ex : Paris ; Avenue de Versailles - Rue de Rennes	2 000	75	Nombreuses plaintes et déménagements
Urbanisation moderne	-	70	Plaintes et sentiment d'inconfort
Immeuble à 60 m d'une autoroute	2 000		
Rue secondaire d'un centre-ville	200	65	Bien accepté en centre-ville, moins admis en quartier périphérique ou maison individuelle
Immeuble à 150 m d'une autoroute	2 000		
Petite rue réputée calme	200	60	Généralement accepté
Immeuble à 300 m d'une autoroute	2 000		
Immeuble à 500 m d'une route rapide	1 000	55	Jugé assez calme
Façade sur cour d'un immeuble en centre-ville	-	50	Jugé calme
Façade sur cour en quartier résidentiel	-	45	Très calme

Tableau 5-3 : Mesure réalisée à 2m devant la façade du bâtiment

5.1.4. Sensibilité du bruit aux variables du trafic

5.1.4.1. Sensibilité aux variations de débits

Le débit (véh/h) constitue le paramètre de base en matière de bruit émis par un trafic.

Une loi générale sur le bruit du trafic précise¹⁵ qu'il est égal à 10 fois le logarithme du débit ($10 \times \text{Log}(Q)$) Cependant, cette formulation ne convient pas pour les différentes catégories de véhicules. On introduit donc la notion de « débit total équivalent ».

Si l'on ne considère dans un premier temps que les véhicules légers ou VL et les poids lourds ou PL, le débit total équivalent horaire correspond à la somme des débits moyens horaires des véhicules légers et des poids lourds, ces derniers étant affectés d'un coefficient d'équivalence acoustique, noté e , pour tenir compte de leur émission sonore plus élevée.

¹⁵ ADEME et CERTU (1999).

Le coefficient d'équivalence acoustique est un moyen simple de prendre en compte les différences d'émission sonore entre les catégories de véhicules. Il suppose que le bruit d'un PL, par exemple, correspond à celui de eVL.

Le débit total équivalent moyen horaire¹⁶ est alors estimé par :

$$Q_{eq\text{véh}/h} = Q_{VL/h} + eQ_{PL/h}$$

où

- $Q_{VL/h}$ est le débit moyen de véhicules légers pour l'heure moyenne représentative de la période considérée (6h-22h ou 22h-6h),
- $Q_{PL/h}$ est le débit moyen de poids lourds pour l'heure moyenne représentative de la période considérée,
- e est le facteur d'équivalence acoustique qui dépend, entre autres, des conditions de circulation et de la pente de la voie.

Par exemple, dans le cas d'une route en palier (pente inférieure ou égale à 2%) et pour une circulation pulsée en centre ville, le facteur d'équivalence acoustique est généralement une valeur de 10. dans les mêmes conditions de profil en long, pour les autoroutes, la valeur de e se situe entre 4 à 5.

En ville, en circulation pulsée et en l'absence de rampe, 10% de poids lourds atteindront à eux seuls le même niveau de bruit que l'ensemble des véhicules légers. Sur autoroute, ce chiffre est de 20% de poids lourds. Le niveau de bruit du trafic est très directement lié au logarithme du débit total équivalent et, plus précisément, il dépend de la quantité $10 \log Q_{eq}$.

5.1.4.2. Sensibilité aux vitesses et allures

La vitesse du flot de circulation est aussi un paramètre essentiel dans l'émission acoustique d'un trafic. Son influence varie selon que le trafic est plutôt urbain ou interurbain.

En centre ville (allures urbaines < 50 km/h), la vitesse influe peu sur le niveau sonore ; c'est surtout le régime moteur, donc le caractère fluide ou pulsé de la circulation, qui conditionne le bruit émis.

Aux vitesses élevées en agglomérations (supérieures à **60 km/h** pour les VL et à 70-80 km/h pour les PL), c'est le bruit de roulement qui domine ; la vitesse est donc un facteur essentiel : le niveau de bruit du trafic (L_{Aeq}) varie en fonction de 20 fois le logarithme de la vitesse ($20 \times \log V$) et le niveau de sommet au passage du véhicule (L_{Amax}) en fonction de $30 \times \log V$ ¹⁷. L'émission sonore du trafic est donc davantage sensible aux variations de la vitesse qu'aux variations du débit.

On remarque que, au-delà de 60 km/h, la vitesse pèse davantage que le débit dans le bruit émis par le trafic, puisque c'est le carré de la vitesse qui intervient.

Un trafic pulsé est toujours plus bruyant que le même trafic fluide. Toutefois, cet effet est surtout sensible à basse vitesse et n'a quasiment plus d'influence acoustique à partir de 50

¹⁶ ibid.

¹⁷ ibid.

km/h. Pour les basses vitesses, le régime moteur est donc un paramètre essentiel de l'émission sonore des véhicules.

5.2. Des campagnes de mesure du bruit sur A4 et A86

Plusieurs campagnes de mesure de bruit ont été réalisées, notamment en 2001, 2002 et 2004. Elles permettent de mieux connaître les caractéristiques de l'environnement sonore du tronçon commun A4-A86 dans la situation avant aménagement. Les mesures visaient à caractériser l'ambiance sonore sur les deux périodes réglementaires diurne (6h-22h) et nocturne (22h-6h). Pour l'essentiel, il s'agissait de *mesures de constat*¹⁸, c'est-à-dire correspondant à une *mesure pour un état donné, en un lieu donné et à un moment donné*.

Une première campagne de mesures acoustiques (destinée à compléter des mesures antérieures de 1994 et 1995) a été réalisée en avril 2001 en 12 points longeant l'autoroute A4 [ACOUSTB, 2001]. Il en ressort que l'habitat riverain de l'autoroute A 4 est fortement exposé au bruit de celle-ci : les niveaux de bruit diurnes (6 h-22 h) dépassent largement 65 dB(A) pour atteindre parfois 75 dB(A). La contribution de la ligne SNCF est globalement marginale.

Une seconde campagne de mesures acoustiques a été réalisée en septembre et octobre 2002 en façades de 33 habitations [Espace 9, 2002]. De l'échangeur de Saint Maurice au carrefour Pompadour, le site d'étude a été découpé en 4 zones. La première zone comprenait l'autoroute A4 et les 4 viaducs, tandis que les zones suivantes concernaient la A86 jusqu'au carrefour Pompadour. Les mesures correspondaient à des relevés de 24 h en continu sur les 33 points choisis. Les enregistrements ont été effectués par la technique du Leq court (1 s) et dépouillés sur ordinateur. Les niveaux de bruit mesurés ont été corrélés heure par heure aux caractéristiques du trafic, débit et vitesse mesurés sur des séquences 6 min.

Cette zone représente un secteur d'échange entre A4 et A86 et s'avère complexe quand à sa caractérisation acoustique, notamment en ce qui concerne les vitesses circulées et les contributions sonores des différentes voies du secteur de l'échangeur. L'insertion des bretelles de l'A86 est source de ralentissements fréquents et occasionne des chutes de niveaux sonores sensibles en journée (points à l'ouest de la zone). L'habitat est de type mixte petits pavillons à un étage et immeubles de hauteur modérée protégés à la source par des écrans en bordure des voies de l'A4 et des bretelles de l'A86 vers Paris. Le revêtement des voies est du type enrobé acoustique.

- Pour les mesures effectuées à faible hauteur (rez-de-chaussée ou 1^{er} étage), les niveaux de bruits en journée paraissent acceptables, de 61 à 62,5 dB(A), en dépit de la proximité de A4 (de 50 m à 100 m selon les points) et de A86 à (de 25 m à 40 m).
- On note en revanche de fortes valeurs, au-dessus du seuil de 65 dB(A), pour des mesures effectuées à des étages élevés (points 3 et 5). Pour le dernier point en vue directe sur les voies, l'exposition au bruit est maximum avec 74 dB(A), nettement supérieure au seuil de 70 dB(A) des points noirs.

¹⁸ La mesure sonométrique n'est en effet représentative que d'un point de la zone d'étude à un moment donné, et non pas des niveaux sonores de tous les points de la zone d'étude.

La troisième campagne de mesure réalisée du 6 au 10 septembre 2004 a aussi principalement concerné l'autoroute A86 [ACOUSTB, octobre 2004]. Elle a permis d'évaluer le niveau sonore en façade de 10 habitations situées le long des autoroutes A4 et A86, sur les communes de Saint Maurice, Maisons-Alfort et Créteil. Elle a comporté 10 mesures de 24 h consécutives et 10 prélèvements de 15 mn. 2 points de mesure ont été soumis au bruit principal de l'autoroute A4 et 8 autres au bruit principal de l'A86.

- Les mesures effectuées en bordure de l'A86 ont montré des niveaux de bruit compris entre 58 et 63.5 dB(A) pour la période jour et compris entre 52 et 60 dB(A) pour la période nuit. L'écart de niveau entre les deux périodes réglementaires varie selon les points de mesure entre 2.5 et 5.5 dB(A). Cet écart est relativement faible. Il s'explique par les nombreuses périodes d'embouteillages sur l'A86 en période de jour, qui conduisent à un niveau sonore plus faible que celui qui serait mesuré avec un trafic fluide.
- Les niveaux sonores relevés au point n°1, situé assez loin de l'A4 (environ 100 m), se sont révélés relativement faibles, en particulier en période diurne, puisque le LAeq (6h-22h) est inférieur à 60 dB(A). L'écart de bruit entre le jour et la nuit était de 4,5 dB(A).
- Au point de mesure n°2, proche de l'A4 et en étage, les niveaux de bruit nettement plus importants dépassaient 65 dB(A) pour la période diurne et 60 dB(A) pour la période nocturne. L'écart jour nuit était de 4,5 dB(A).

Enfin, une quatrième campagne de mesure, réalisée du 12 au 13 octobre 2004, a plus spécialement visé l'autoroute A4 [ACOUSTB, nov 2004]. Les niveaux de bruit in situ ont été enregistrés en cinq points fixes de 24 h consécutives, en façade d'habitations situées sur la commune de Champigny sur Marne. Là encore, il s'agissait *de mesures de constat*, relevant le niveau de bruit ambiant en un lieu donné, dans un état donné et à un moment donné.

La zone concernée par les mesures est entièrement urbaine. Elle est essentiellement résidentielle et composée en majorité de pavillons individuels à un étage. Quelques immeubles comprenant de 4 à 13 étages sont aussi présents sur le site. Le bâti existant se situe de part et d'autre de l'A4, les habitations les plus proches se situant à une quinzaine de mètres de l'autoroute. Le sol est essentiellement de type Béton / Bitume, donc très peu absorbant.

Dans la traversée de Champigny sur Marne, l'autoroute A 4 est en configuration 2x4 voies. Sur le site considéré, l'autoroute est en déblai par rapport aux habitations. L'autoroute est en partie couverte, principalement au niveau de la rue Dreyer. Sur les portions où elle ne l'est pas, par une GBA. Le revêtement de chaussée est de type béton bitumineux d'assez bon aspect général.

La campagne de mesure a permis d'évaluer les niveaux de bruit aux abords de l'autoroute A 4 à Champigny sur Marne après la dépose des paralumes en septembre 2004. Les points de mesure sont soumis au bruit principal de l'A 4, ainsi qu'au bruit d'une voie ferrée pour 3 d'entre eux. Un point PF5 est, quant à lui, soumis au bruit principal de l'avenue du Général de Gaulle.

- Aux points de mesure ne subissant pas l'influence d'une voie ferrée (PF3 et PF5) ainsi qu'au PF1, les niveaux de bruit sont relativement faibles puisqu'ils sont inférieurs à 65 dB(A) en période diurne et inférieurs à 60 dB(A) en période nocturne.
- Deux autres points subissent des niveaux sonores plus élevés, puisqu'ils sont supérieurs à 60 dB(A) la nuit. Le niveau sonore de jour dépasse même 65 dB(A) pour le point n° 4. L'autoroute étant couverte sur une grande partie de la zone de mesure, les niveaux de bruit restent relativement limités, compte tenu de la faible distance entre les points de mesure et l'autoroute.
- Pour les points situés à proximité d'une voie ferrée, la contribution ferroviaire au niveau de bruit global est assez modérée. Elle est dans tous les cas plus faible que la contribution du bruit résiduel (A 4 essentiellement) au niveau de bruit global.

5.3. Variabilité des mesures de bruit

L'exploitation des campagnes de mesures précédentes, dans le cadre d'une évaluation avant/après, soulève plusieurs difficultés.

- Sur les diverses campagnes de mesures mentionnées précédemment, deux concernent principalement l'autoroute A86, au sud de l'échangeur de Saint Maurice. Elles ne sont pas représentatives de l'environnement sonore du tronc commun A4-A86. De plus, la caractérisation du bruit au niveau de l'échangeur de Saint Maurice lui-même s'avère complexe, comme mentionné plus haut.
- Les mesures de bruit relatives à l'autoroute A4 et aux autres secteurs correspondent toujours à une photographie ***pour un état donné, en un lieu donné et à un moment donné***. Elles ne permettent pas de connaître la variabilité en un lieu donné. Cela implique, notamment, que toute nouvelle mesure effectuée en un même point fixe, même à une période similaire, ne peut raisonnablement être comparée aux précédentes. *En particulier, il ne serait pas possible d'effectuer un test statistique de comparaison avant/après.*
- De nombreux facteurs non maîtrisables agissent sur la variabilité de la mesure en un point fixe donné. Il s'agit non seulement du débit et de la vitesse du trafic mais aussi de tous les facteurs liés à la météorologie (température, humidité, précipitations, vitesse et direction du vent, ...).

Ce constat milite donc pour une évaluation avant/après fondée sur une modélisation plutôt que sur une nouvelle campagne de mesures dont les résultats ne permettraient pas de conclure quant à l'***effet isolé*** de la voie auxiliaire.

5.4. Une étude par simulation

Une étude de simulation acoustique a été réalisée sur la base du modèle de simulation MITHRA, développé par le CSTB, et dont les calculs sont fondés sur la méthode mise au point par le CERTU, le LCPC et le SETRA pour le compte de la Direction des Routes (Ministère de l'Équipement). Cette étude a porté sur les nuisances sonores engendrées par la circulation automobile suite à la mise en œuvre de l'opération d'exploitation dynamique de la 5^{ème} voie. Les résultats obtenus sont détaillés en annexe.

La principale conclusion de cette étude spécifique sur l'impact acoustique de l'opération a été le choix de mise en œuvre d'enrobés acoustiques performants sur la section concernée par l'opération ; la figure ci-après synthétise l'impact prévisionnel attendu de cette opération sur l'ambiance sonore de la zone dans cette configuration.

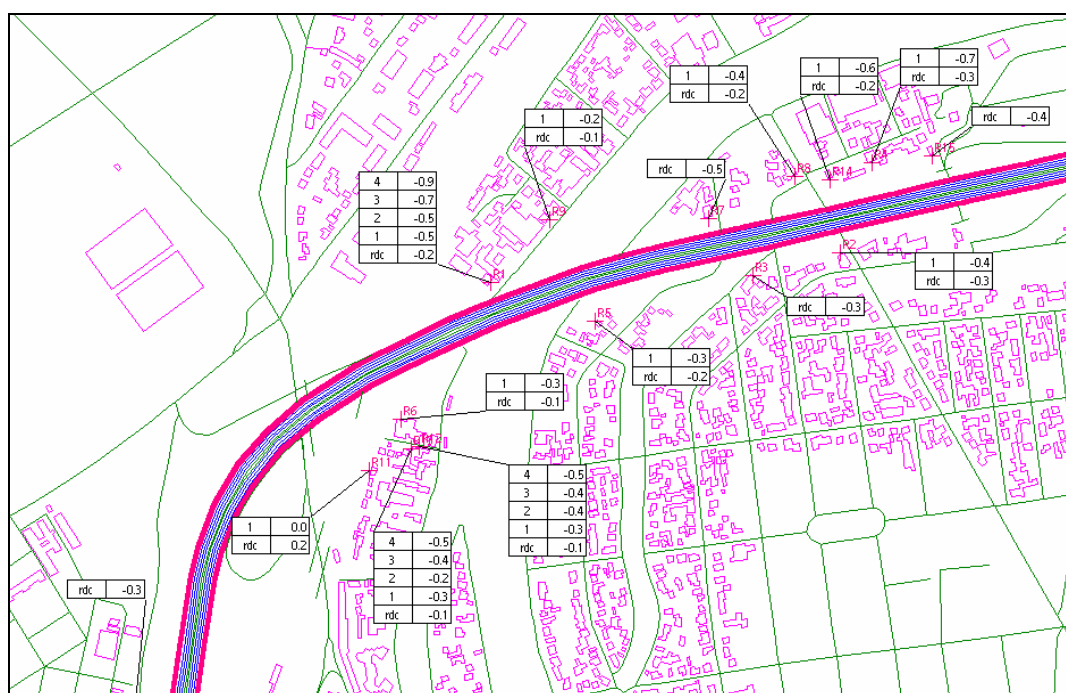


Figure 5-5 : Variation des niveaux sonores en façade sur une journée (6h-22h) dans le cas d'un enrobé silencieux sur les chaussées du tronc commun (Etude ISIS, modèle MITHRA).

En dépit de l'augmentation de capacité aux heures pointes, l'étude conclut que la pose d'un enrobé silencieux permet, à une exception près, d'améliorer la situation globale sur la journée avec des niveaux sonores inférieurs de 0.1 à 0.9 dB(A) aux niveaux actuels.

Le dispositif d'exploitation n'étant pas activé en période nocturne, aucune augmentation des niveaux sonores n'est à craindre durant cette période. Au contraire, la mise en œuvre d'enrobés silencieux est de nature à améliorer significativement la situation actuelle en faisant chuter sensiblement le niveau de bruit.

En conclusion, l'aménagement des voies du tronc commun A4/A86 ne devrait pas entraîner de modification significative des niveaux en façade des habitations et les variations sur la journée vont dans le sens d'une diminution du volume sonore.

5.5. Une formulation analytique

Notre analyse de bruit porte sur le tronç commun lui-même, c'est-à-dire sur la section de l'infrastructure ayant subi une variation de son profil en travers. Nous supposons que le bruit n'évolue pas dans la zone d'influence (il est possible qu'il ait diminué dû fait du trafic transféré). La période d'étude correspond aux heures de pointe, pour un jour ouvrable moyen, 7h-10h (A4W, A86I) et 16h-20h (A4Y et A86 E), c'est-à-dire la période durant laquelle la voie auxiliaire est généralement ouverte avec un trafic élevé et donc une forte émission sonore.

« *Le guide méthodologique pour les plans de déplacements urbains*¹⁹ », précise que le bruit provenant d'un véhicule est principalement d'origine mécanique pour les vitesses inférieures à **60 km/h** et principalement dû au contact pneumatiques/chaussée pour les vitesses supérieures à **60 km/h**. Cela signifie que la puissance horaire émise, L_{Aeq} , est fonction du logarithme du débit pour des vitesses inférieures à 60 km/h et est fonction du logarithme de la vitesse pour des vitesses supérieures à 60 km/h.

La puissance émise peut donc s'écrire sous la forme de l'expression :

$$L_{Aeq} = \alpha + 10 \times \text{Log} (Q) + 20 \times \text{Log} (V)$$

dans laquelle, Q représente le débit (en véh/h), V la vitesse moyenne en (en km/h) et α un paramètre numérique.

5.6. Validation à partir de mesures réelles

Les mesures de 2001, 2002 et 2004, malgré leurs limitations, permettent de tester si le modèle théorique de calcul est ou non valide.

La figure suivante illustre une première validation avec les mesures extraites de la campagne de septembre 2002. Le graphique montre la corrélation linéaire entre les valeurs de bruit mesurées en un point proche du tronç commun et la valeur théorique issue de l'application de la formulation précédente avec des mesures de trafic, débit et vitesse [Étude Espace 9, 2002].

¹⁹ ibid.

Modèle $y = 10\log(QVL+eQPL) + 20\log V$

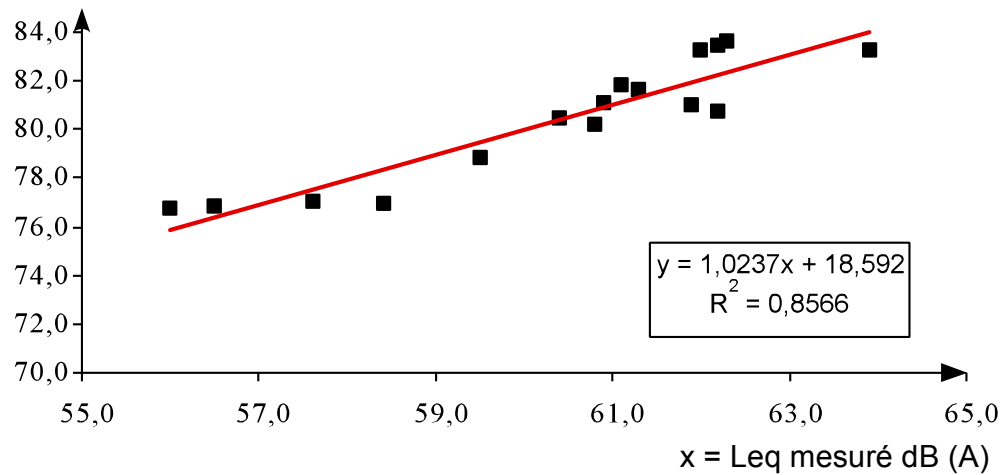


Figure 5-6 : Corrélation entre mesures de bruit et indicateurs de trafic

La valeur du coefficient de détermination ($R^2 = 0,86$) témoigne ainsi de la bonne validité du modèle de calcul. L'erreur moyenne d'estimation est de 0,9 dB(A). La conclusion s'étend à l'ensemble des points enquêtés lors des campagnes 2002 et 2004 de mesure du bruit.

Une seconde illustration du phénomène est déclinée dans la figure 1 suivante, cette fois-ci avec les données extraites de la campagne de 2004 sur A86/A4. Les valeurs mesurées et calculées du Leq sont représentées pour les seuls points fixes enquêtés proches de l'autoroute A4. Le nuage de points est bien aligné le long de la 1^{ère} bissectrice, confirmant ainsi la bonne corrélation mesure-modèle. Dans cet exemple, on obtient la valeur remarquable ($R^2 = 0,999$) qui témoigne de la très bonne qualité de l'ajustement. Comme précédemment, l'erreur moyenne d'estimation est proche de 1 dB(A).

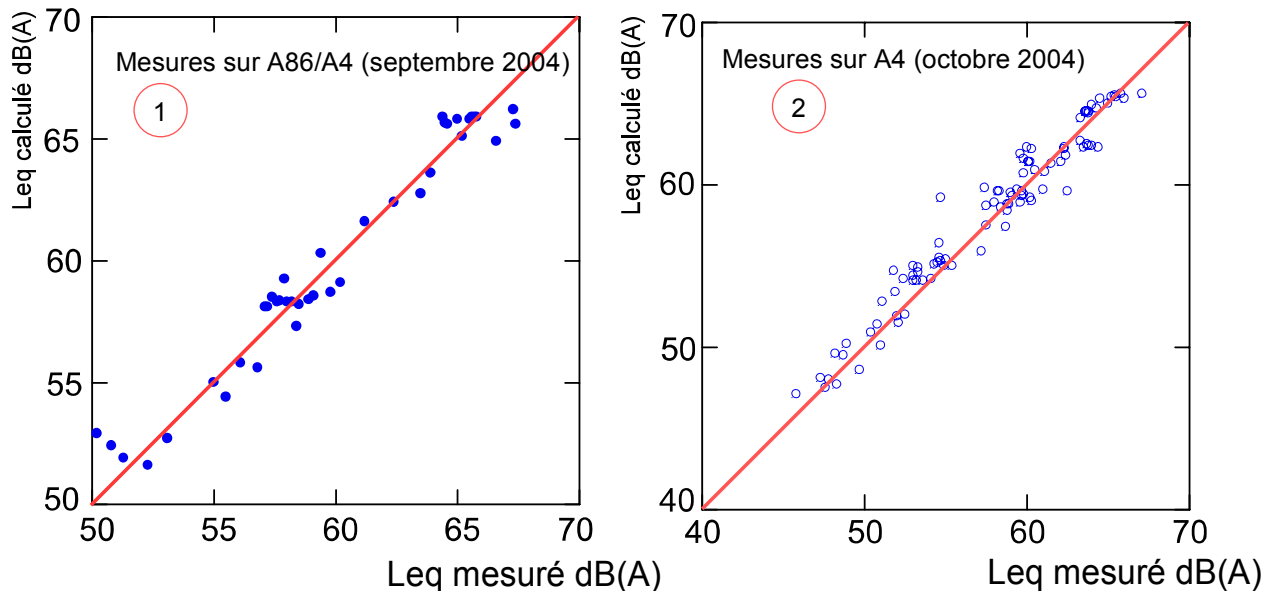


Figure 5-7 : Corrélation mesure du bruit et trafic aux abords du TCA4-A86

Un graphique analogue est fourni (fig 2) pour les mesures recueillies lors de la 3^{ième} campagne acoustique sur A4.

Le modèle analytique permet donc de déterminer, avec une précision raisonnable, le niveau de bruit équivalent (L_{eq}) connaissant les valeurs de débit et de vitesse.

5.7. Application aux débits de l'heure de pointe

Par application de la formule précédente sur le tronçon commun A4-A86, la variation avant/après de puissance acoustique liée à l'aménagement s'écrit :

$$\Delta L_{Aeq} = 10 \times \text{Log} \left(\frac{Q_{\text{après}}}{Q_{\text{avant}}} \right) + 20 \times \text{Log} \left(\frac{V_{\text{après}}}{V_{\text{avant}}} \right)$$

où le débit Q correspond à $Q_{eq\text{véh/h}} = Q_{VL/h} + eQ_{PL/h}$, avec un coefficient e égal à 5.

Avec les valeurs de débit aux heures de pointe, nous obtenons la variation maximale de puissance sonore pendant l'utilisation de la voie auxiliaire.

Sections	Année	Débit (véh/h)	Pourcentages des poids lourds	vitesse moyenne (km/h)	Qeq (véh/h)	Qvl/h (véh/h)	Qpl/h (véh/h)
A4 W	2003	4704	2,1%	34,8	5099	4605	99
	2006	5682	2,1%	40,8	6159	5562	119
A4 Y	2003	6973	7,9%	54,2	9176	6422	551
	2006	6801	7,9%	65,1	8950	6264	537

Tableau 5-4 : Données pour le calcul de $\Delta L'_{Aeq}$

Le rapport des débits nous donne donc le résultat suivant :

Sections	Année	ΔL_{Aeq}
A4 W	2003	2,2
	2006	
A4 Y	2003	1,5
	2006	
	2006	

Tableau 5-5 : Résultats du calcul de $\Delta L'_{Aeq}$

Avec la formulation employée et les hypothèses choisies, la variation de puissance acoustique horaire émise s'avère donc **inférieure à 2,2 dB(A)**. D'après le guide méthodologique relatif aux PDU²⁰, une telle variation de bruit (de 2,2 dB(A)) est **à peine perceptible**.

Ainsi, pendant l'heure de pointe et en dépit de la forte augmentation du trafic sur le tronçon commun A4-A86, la variation du bruit est faible et à peine perceptible.

À ce premier résultat, il faut adjoindre les effets du nouveau revêtement acoustique utilisé.

²⁰ *ibid.*

Après l'étude du phénomène acoustique, il faut donc analyser celle de la propagation qui subit aussi des modifications. Le guide méthodologique relatif aux PDU²¹ précise qu'un revêtement acoustique avec des bétons bitumineux drainants réduit en moyenne le bruit de 4 à 7 dB(A). La réduction du niveau de bruit est principalement imputable à l'enrobé drainant du revêtement de la chaussée.

Pour l'autre période de la journée, il n'y a pas d'augmentation du débit et le bilan reste toujours favorable.

5.8. Conclusion

L'étude de l'émission acoustique des voies montre que le niveau sonore n'a augmenté que de 2,2 dB(A) au plus, alors que l'oreille ne perçoit une variation de bruit qu'à partir d'une différence de 3 dB(A). Par ailleurs, le revêtement diminue de 4 à 7 dB(A) ce volume sonore. Nous pouvons donc raisonnablement en conclure que les riverains subissent moins de nuisances sonores qu'auparavant.

Dans la nouvelle configuration du tronç commun A4-A86, toutes les émissions diminuent donc par rapport à la situation antérieure.

²¹ ibid.

ÉLÉMENTS DE CONCLUSION

Ce document est élaboré dans le cadre d'une convention DIRIF-INRETS relative au fonctionnement du tronc commun autoroutier A4-A86, dans le Val-de-Marne. Il présente les résultats d'évaluation des effets de la voie auxiliaire du tronc commun sur les émissions de polluants, sur la consommation d'énergie et sur le bruit.

L'évaluation s'effectue, a posteriori, par comparaison entre la situation 2003 de référence à 2x4 voies avec BAU et la nouvelle configuration 2006 avec la voie auxiliaire. Compte-tenu des difficultés liées à la mesure directe des diverses émissions – polluants, consommation, bruit - l'évaluation repose d'une part, sur les données réelles de trafic et d'autre part, sur *des modèles de calcul appropriés*.

Les principales tendances de la comparaison avant/après se déclinent ainsi.

- Sur le réseau d'influence, on observe les jours ouvrables une légère diminution du volume de trafic (-1%) associée à une baisse substantielle (-7%) du temps total passé en circulation. Les samedis et dimanches ces tendances sont encore plus marquées.
- L'impact environnemental est positif sur le réseau d'influence. Les principales émissions de polluants et de gaz à effet de serre tout comme la consommation d'énergie diminuent. La réduction atteint 20% pour les oxydes d'azote, 39% pour le monoxyde de carbone et plus de 85% pour le dioxyde de soufre. Elle est de 4,25% pour les gaz à effet de serre et de 15% environ pour la consommation d'essence et de 1% environ pour le diesel.
- Cette réduction provient principalement de l'amélioration du niveau de service de circulation résultant de l'utilisation de la voie auxiliaire mais aussi, dans une moindre mesure, de l'effet de la réglementation, de l'évolution du parc et de l'amélioration des carburants entre les années 2003 et 2006.
- Aux heures de pointe avec la voie auxiliaire ouverte, le niveau sonore n'augmente que de 2,2 dB(A) au plus, alors que l'oreille ne perçoit une variation de bruit qu'à partir d'une différence de 3 dB(A). Par ailleurs, le revêtement drainant mis en place diminue de 4 à 7 dB(A) ce volume sonore.
- Pour le reste de la journée et de la nuit, il n'y a pas d'augmentation du débit et le bilan sonore demeure toujours favorable grâce au nouvel enrobé drainant.

Dans la nouvelle configuration du tronc commun A4-A86, les principales nuisances dues au trafic – polluants, consommation, bruit – diminuent donc par rapport à la situation antérieure.

RÉFÉRENCES

1. ACOUSTB (2001) *Autoroute A4 Communes de Champigny et Nogent sur Marne, Étude acoustique*, avril 2001.
2. ACOUSTB (2004) *Autoroute A86 Traversée de Maisons-Alfort. Mesures de niveaux de bruit in situ. Étude acoustique*, octobre 2004.
3. ACOUSTB (2004) *Autoroute A4 à Champigny sur Marne. Mesures de niveaux de bruit in situ. Étude acoustique*, novembre 2004.
4. ADEME et CERTU (1999), *Plans de déplacements urbains. Prise en compte de la pollution de l'air, du bruit et de la consommation d'énergie. Guide méthodologique*, Lyon, Co-édition CERTU – ADEME, 300 pages.
5. COHEN S. (2007), *Impact de l'utilisation de la voie auxiliaire sur le niveau de service de circulation du tronc commun A4-A86*, Arcueil, INRETS et DIRIF, mai 2007.
6. COHEN S. (2005b), *La gestion dynamique des voies : un outil efficace d'exploitation des autoroutes?*, Revue Générale des Routes, n° 842, septembre 2005.
7. DESNOUAILLES C. et al. (2007), *L'affectation variable des voies : deux projets français pour minimiser la congestion des autoroutes urbaines*, AIPCR, 2007.
8. DREIF, (2006) *Tronc Commun A4-A86 : Projet d'aménagement à 2x5 voies*, note générale relative aux études acoustiques prévisionnelles.
9. ESPACE 9, (2002) *Étude acoustique (Mesure de bruit) sur l'Autoroute A86/A4 (Commune de Saint-Maurice, de Maisons-Alfort et de Créteil, Val-de-Marne)*, septembre-octobre 2002.
10. ISIS (2003) *Tronc commun aux autoroutes A4 et A86 : mesures d'exploitation, aux heures de pointe, d'une voie supplémentaire. Étude d'impact*, novembre 2003.
11. MAURIN Michel, 1998, *Une caractérisation de l'émission acoustique des véhicules au cours des déplacements*, Recherche Transports Sécurité, n° 59, pages 43-55.

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats issus du logiciel IMPACT

Annexe 2 : Résultats issus d'études en simulation avec le logiciel MITHRA

Total d'émissions polluantes et la consommation de carburant, jours ouvrables (g)

2003	# Véhicules	Essence Consommation	Diesel Consommation	CO	NOx	COV	Particules	CO2	SO2	CH4	N2O
A4W	95,446	20,928,172	46,683,388	949,254	898,420	159,213	57,138	211,756,256	33,451	10,538	27,317
A4Y	106,362	20,225,584	69,589,232	949,064	1,342,256	193,132	78,753	281,438,816	47,012	13,440	31,285
A86NE	63,641	9,633,851	19,282,690	627,386	362,495	81,941	24,885	90,248,672	14,074	6,127	14,550
A86NI	56,866	7,350,498	21,932,956	462,108	418,989	78,735	25,377	91,555,792	15,071	6,516	12,969
A86SE	76,920	9,898,966	19,639,626	666,977	369,142	84,906	25,663	92,151,752	14,358	6,336	14,454
A86SI	81,229	7,109,253	23,063,826	351,627	451,875	73,029	25,773	94,511,584	15,687	4,756	10,240
Total	480,464	75,146,324	200,191,718	4,006,416	3,843,176	670,957	237,589	861,662,872	139,653	47,713	110,815

2006	# Véhicules	Essence Consommation	Diesel Consommation	CO	NOx	COV	Particules	CO2	SO2	CH4	N2O
A4W	92,590	17,112,384	45,358,876	512,678	700,727	87,492	37,867	196,127,664	4,998	6,797	27,387
A4Y	101,955	16,741,864	68,200,496	578,582	1,046,361	117,869	54,348	266,562,592	6,795	10,062	30,908
A86NE	67,332	9,552,136	21,198,904	479,737	328,873	55,082	19,339	96,236,944	2,460	4,131	15,770
A86NI	58,021	6,529,556	22,212,782	293,536	344,569	50,264	17,446	90,084,024	2,299	4,513	13,537
A86SE	80,102	8,556,027	19,535,690	389,722	301,331	48,404	17,070	87,982,912	2,247	3,724	15,420
A86SI	80,342	5,720,413	22,802,622	192,653	353,742	41,661	17,763	89,516,888	2,282	3,380	10,438
Total	480,342	64,212,380	199,309,370	2,446,907	3,075,604	400,771	163,832	826,511,024	21,082	32,606	113,460

Variation	-0.03%	-14.55%	-0.44%	-38.93%	-19.97%	-40.27%	-31.04%	-4.08%	-84.90%	-31.66%	2.39%
------------------	---------------	----------------	---------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---------------	----------------	----------------	--------------

Effet de serre, équivalent CO2(g)			
	2003	2006	variation
A4W	220,445,968	204,760,512	-7.12%
A4Y	291,419,392	276,355,296	-5.17%
A86NE	94,887,856	101,212,360	6.67%
A86NI	95,712,920	94,375,216	-1.40%
A86SE	96,765,640	92,841,264	-4.06%
A86SI	97,785,720	92,823,696	-5.07%
total	897,017,496	862,368,344	-3.86%

Equivalent CO2 : CO2, CH4, N2O

Total d'émissions polluantes et la consommation de carburant, samedis (g)

2003	# Véhicules	Essence Consommation	Diesel Consommation	CO	NOx	COV	Particules	CO2	SO2	CH4	N2O
A4W	93,537	18,641,056	46,402,672	839,422	900,521	121,316	62,993	203,761,472	32,688	9,012	26,771
A4Y	100,190	18,836,202	67,956,576	950,673	1,279,150	163,846	80,037	271,883,936	45,671	12,574	29,469
A86NE	60,454	7,612,271	16,206,167	403,765	310,301	62,713	19,871	74,500,232	11,703	4,007	9,022
A86NI	57,326	6,529,222	20,464,634	360,396	403,463	71,197	22,997	84,489,032	13,976	4,402	8,792
A86SE	77,984	7,760,092	16,804,704	392,199	322,459	63,071	20,522	76,868,608	12,100	4,014	9,566
A86SI	80,515	6,561,673	22,576,460	307,900	435,461	62,657	25,549	91,305,656	15,252	4,360	10,150
Total	470,006	65,940,515	190,411,213	3,254,355	3,651,354	544,800	231,969	802,808,936	131,391	38,370	93,770

2006	# Véhicules	Essence Consommation	Diesel Consommation	CO	NOx	COV	Particules	CO2	SO2	CH4	N2O
A4W	86,421	15,175,332	44,610,384	522,162	685,541	67,030	44,132	187,591,872	4,783	6,567	25,563
A4Y	94,009	15,450,002	64,360,752	571,212	972,566	103,776	53,125	250,402,592	6,385	9,459	28,499
A86NE	64,110	7,109,889	17,320,522	264,458	269,294	39,813	14,299	76,617,584	1,954	2,752	9,888
A86NI	56,005	5,760,936	20,390,580	235,333	327,950	47,268	15,601	82,005,520	2,092	3,117	8,853
A86SE	77,587	6,877,352	16,985,858	245,809	263,797	38,162	13,957	74,855,312	1,909	2,669	9,836
A86SI	83,117	5,842,272	23,916,928	204,053	365,872	40,763	19,183	93,385,912	2,381	3,525	10,799
Total	461,249	56,215,782	187,585,024	2,043,026	2,885,019	336,813	160,298	764,858,792	19,504	28,089	93,437

Variation	-1.86%	-14.75%	-1.48%	-37.22%	-20.99%	-38.18%	-30.90%	-4.73%	-85.16%	-26.79%	-0.36%
------------------	---------------	----------------	---------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---------------	----------------	----------------	---------------

Effet de serre, équivalent CO2(g)			
	2003	2006	variation
A4W	212,249,792	195,654,224	-7.82%
A4Y	281,283,520	259,435,904	-7.77%
A86NE	77,381,216	79,740,656	3.05%
A86NI	87,307,040	84,815,336	-2.85%
A86SE	79,918,248	77,960,376	-2.45%
A86SI	94,543,600	96,807,544	2.39%
Total	832,683,416	794,414,040	-4.60%

Equivalent CO2 : CO2, CH4, N2O

Total d'émissions polluantes et la consommation de carburant, dimanches (g)

2003	# Véhicules	Essence Consommation	Diesel Consommation	CO	NOx	COV	Particules	CO2	SO2	CH4	N2O
A4W	89,965	17,924,854	44,180,320	788,547	857,060	118,807	58,993	194,582,016	31,169	8,649	25,749
A4Y	89,524	17,134,206	62,879,928	933,046	1,165,973	141,522	76,047	250,549,824	42,183	11,512	26,332
A86NE	60,454	6,777,669	15,307,496	300,455	294,962	50,858	18,808	69,182,128	10,947	3,380	9,022
A86NI	55,121	6,442,282	19,973,914	366,114	394,080	70,839	22,534	82,662,304	13,659	4,356	8,454
A86SE	73,591	6,298,371	15,361,858	272,151	297,851	42,507	20,194	67,870,408	10,855	3,038	9,027
A86SI	73,950	6,202,277	20,738,252	294,524	403,589	61,594	23,230	84,410,096	14,056	4,130	9,322
Total	442,605	60,779,658	178,441,768	2,954,836	3,413,514	486,126	219,805	749,256,776	122,868	35,065	87,906

2006	# Véhicules	Essence Consommation	Diesel Consommation	CO	NOx	COV	Particules	CO2	SO2	CH4	N2O
A4W	82,426	14,377,222	41,721,044	464,934	641,515	65,147	39,810	176,067,264	4,488	6,118	24,381
A4Y	84,575	14,150,906	59,912,024	576,090	890,661	90,305	51,489	232,288,208	5,925	8,789	25,639
A86NE	63,171	6,200,770	16,206,794	189,842	250,596	32,150	13,415	70,341,768	1,793	2,448	9,743
A86NI	54,039	4,943,087	18,722,188	171,345	295,954	38,080	14,215	74,262,208	1,893	2,811	8,542
A86SE	74,812	5,587,691	16,137,528	177,464	248,190	25,537	15,220	68,190,680	1,738	2,365	9,484
A86SI	75,032	5,501,722	21,262,000	186,435	333,921	41,577	16,244	83,992,688	2,141	3,175	9,748
Total	434,055	50,761,397	173,961,578	1,766,110	2,660,837	292,796	150,393	705,142,816	17,978	25,706	87,537

Variation	-1.93%	-16.48%	-2.51%	-40.23%	-22.05%	-39.77%	-31.58%	-5.89%	-85.37%	-26.69%	-0.42%
------------------	---------------	----------------	---------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---------------	----------------	----------------	---------------

Effet de serre, équivalent CO2(g)			
	2003	2006	variation
A4W	202,745,760	183,753,856	-9.37%
A4Y	258,954,544	240,420,864	-7.16%
A86NE	72,049,952	73,413,568	1.89%
A86NI	85,374,528	76,969,264	-9.85%
A86SE	70,732,488	71,180,320	0.63%
A86SI	87,386,640	87,081,344	-0.35%
Total	777,243,912	732,819,216	-5.72%

Variation moyenne

total	année	# Véhicules	Essence Consommation	Diesel Consommation	CO	NOx	COV	Particules	CO2	SO2	CH4	N2O
jours ouvrables	2003	480,464	75,146,324	200,191,718	4,006,416	3,843,176	670,957	237,589	861,662,872	139,653	47,713	110,815
	2006	480,342	64,212,380	199,309,370	2,446,907	3,075,604	400,771	163,832	826,511,024	21,082	32,606	113,460
Variation		-0.03%	-14.55%	-0.44%	-38.93%	-19.97%	-40.27%	-31.04%	-4.08%	-84.90%	-31.66%	2.39%
samedis	2003	470,006	65,940,515	190,411,213	3,254,355	3,651,354	544,800	231,969	802,808,936	131,391	38,370	93,770
	2006	461,249	56,215,782	187,585,024	2,043,026	2,885,019	336,813	160,298	764,858,792	19,504	28,089	93,437
Variation		-1.86%	-14.75%	-1.48%	-37.22%	-20.99%	-38.18%	-30.90%	-4.73%	-85.16%	-26.79%	-0.36%
dimanches	2003	442,605	60,779,658	178,441,768	2,954,836	3,413,514	486,126	219,805	749,256,776	122,868	35,065	87,906
	2006	434,055	50,761,397	173,961,578	1,766,110	2,660,837	292,796	150,393	705,142,816	17,978	25,706	87,537
Variation		-1.93%	-16.48%	-2.51%	-40.23%	-22.05%	-39.77%	-31.58%	-5.89%	-85.37%	-26.69%	-0.42%
moyenne total	2003	472,440	71,355,085	195,044,230	3,717,767	3,741,687	621,082	233,719	833,876,602	135,579	44,199	104,432
	2006	469,633	60,751,462	193,263,954	2,271,860	2,976,862	373,023	161,009	796,779,207	20,321	30,771	106,133
Variation moyenne		-0.59%	-14.86%	-0.91%	-38.89%	-20.44%	-39.94%	-31.11%	-4.45%	-85.01%	-30.38%	1.63%

Gaz à effet de serre

Total (g)	année	CO2	CH4	N2O	équivalent CO2
jours ouvrables	2003	861,662,872	47,713	110,815	897,017,496
	2006	826,511,024	32,606	113,460	862,368,344
Variation		-4.08%	-31.66%	2.39%	-3.86%
samedis	2003	802,808,936	38,370	93,770	832,683,416
	2006	764,858,792	28,089	93,437	794,414,040
Variation		-4.73%	-26.79%	-0.36%	-4.60%
dimanches	2003	749,256,776	35,065	87,906	777,243,912
	2006	705,142,816	25,706	87,537	732,819,216
Variation		-5.89%	-26.69%	-0.42%	-5.72%
moyenne total	2003	833,876,602	44,199	104,432	867178844.1
	2006	796,779,207	30,771	106,133	830326648.5
Variation moyenne		-4.45%	-30.38%	1.63%	-4.25%

ANNEXE 2

Résultats de la simulation MITHRA (Etude ACOUSTB, 2001)

SECTION OUEST	Niveau « moyen » Actuel	Niveau « moyen » après élargissement	Variante de protection : Solution 1
NORD D'A 4 (904 fenêtres)	58.5	60.5	59.5
SUD D'A 4 (368 fenêtres)	62.5	64.5	62.5

SECTION EST	Niveau « moyen » Actuel	Niveau « moyen » après élargissement	Variante de protection : Solution 1
NORD D'A 4 (762 fenêtres)	57.0	59.0	57.5
SUD D'A 4 (370 fenêtres)	58.0	60.0	58.5

Sur les sections Ouest et Est, les travaux des protections acoustiques à la source permettent de diminuer globalement les niveaux sonores de 2 dB(A) par rapport à la situation actuelle. Ce gain intègre la mise à 2*5 voies des sections étudiées ainsi que la dépose des paralumes. Sans ces deux modifications de site, l'efficacité des protections proposées serait d'environ 4 dB(A).

Pour les logements exposés à plus de 63 dB(A), des isolations de façade seront réalisées si l'isolement réel est inférieur à l'objectif d'isolement.

SIMULATION MITHRA (Etude d'impact ISIS, 2003)

L'augmentation des niveaux reste inférieure à 2 dB(A) et l'aménagement des voies du tronçon commun A 4 / A 86 n'entraîne pas de modification significative des niveaux en façade des habitations.

Cadre réglementaire, période (6h-22h).

En conservant l'enrobé actuel sur la chaussée après élargissement les niveaux en façade augmentent de 0.1 à 0.6dB(A).

La pose d'un enrobé silencieux après élargissement permet d'améliorer la situation actuelle de 0.1 à 0.9 dB(A).

Calculs aux heures de pointes du matin et du soir.

L'augmentation des niveaux de bruit en façade est limitée à 1dB(A) en conservant l'enrobé actuel sur la chaussée après élargissement et à 0.7 dB(A) après la pose d'un enrobé silencieux.