

IMPACTS DES LIMITATIONS DE VITESSE SUR LA QUALITE DE L'AIR, LE CLIMAT, L'ENERGIE ET LE BRUIT

SYNTHESE DE L'ETUDE

Février 2014



En français :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

En anglais:

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

Sommaire

Glossaire	6
SYNTHESE	7
INTRODUCTION	9
I. Impact sur l'air et le climat	11
I. 1. Moyens d'évaluation	11
I. 2. Voies rapides	12
I. 3. Voies urbaines	17
II. Impacts sur les émissions sonores	20
II. 1. Moyens d'évaluation	20
II. 2. Voies rapides	20
II. 3. Voies urbaines	22
III. Outils d'évaluation des émissions polluantes et de gaz à effet de serre	24
III. 1. Le modèle de calcul des émissions	24
III. 2. La vitesse de circulation	25
III. 3. La congestion du trafic	26
III. 4. Diminution et report de trafic	26
III. 5. La répartition VL/PL	27
III. 6. Les concentrations de fond	27
III. 7. Modification des aménagements à proximité des voies	28
III. 8. Comportements des usagers	28
III. 9. Dispositif de régulation du trafic	29
III. 10. Synthèse : avantages et inconvénients des méthodes d'évaluation des émissions polluantes	30
IV. Facteurs de divergence des outils d'évaluation des émissions sonores	31
IV. 1. Le choix du modèle	31
IV. 2. Diminution et report du trafic	31
IV. 3. Impact des PL	33
IV. 4. Vitesse de circulation	34
IV. 5. Conditions de circulation	35
IV. 6. Dispositifs de réduction de la vitesse	36

IV. 7.	Niveau de bruit résiduel _____	37
IV. 8.	Revêtement de la chaussée _____	37
IV. 9.	Comportement des usagers _____	38
IV. 10.	Pente de la voie _____	39
Conclusion _____		40
IV. 11.	Axes routiers à grande vitesse de circulation _____	41
IV. 12.	Zones ou axes routiers à faible vitesse _____	41
IV. 13.	Vigilances _____	42
TRAVAUX CITES _____		44

Tableaux

Tableau 1 : Etudes d'évaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air utilisés pour les études sur voies rapides	13
Tableau 2 : Evaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par une méthode de calcul macroscopique.....	14
Tableau 3 : Evaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par une méthode de calcul microscopique	15
Tableau 4 : Evaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par une méthode mesures in situ	15
Tableau 5 : Type d'outils d'évaluation utilisé pour les études « air » dans les zones urbaines.....	17
Tableau 6 : Evaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie urbaine par une méthode de calcul	18
Tableau 7 : Evaluation des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie urbaine par une méthode mesures in situ	18
Tableau 8 : Type d'outil d'évaluation utilisé pour les études « bruit » sur voies rapides	21
Tableau 9 : Evaluation de l'impact sur les émissions sonores lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par mesures in-situ ou abaques réalisées à partir de mesures in-situ.....	21
Tableau 10 : Evaluation de l'impact sur les émissions sonores lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par une méthode de calcul	21
Tableau 11 : Type d'outil d'évaluation utilisé pour les études « bruit » sur voies lentes	23
Tableau 12 : Evaluation de l'impact sur les émissions sonores lors d'une réduction de vitesse dans les zones urbaines	23
Tableau 13 : Contraintes des méthodes d'évaluation pour l'air	30
Tableau 14 : Tableau de synthèse des contraintes	30
Tableau 15 : Comparaison de modèles d'émissions (41)	31
Tableau 16 : Vitesses des VL et de PL selon le type d'axes	33
Tableau 17 : Impact d'aménagements sur les émissions sonores (IBGE (34)).....	36
Tableau 18 : Avantages / inconvénients des méthodes d'évaluation des impacts sur la qualité de l'air et les gaz à effet de serre.....	43

Figures

Figure 1 : Erreur commise sur le niveau sonore en fonction de l'erreur commise sur le trafic (41).....	32
Figure 2 : Influence de la proportion de PL sur les émissions sonores (41)	33
Figure 3 : Niveau d'émission sonore en fonction de la vitesse du véhicule (CETUR (28))	35
Figure 4 : Influence du revêtement de la chaussée sur les émissions sonores (Cftr (42)).....	37
Figure 5 : Performances des revêtements (LRPC Strasbourg (43))	38

Glossaire

AASQA : Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
 Air Languedoc Roussillon : Association agréée de surveillance de la qualité de l'air du Languedoc Roussillon
 ASFA : Association des sociétés Française d'Autoroutes
 AtmoPaca : Association agréée de surveillance de la qualité de l'air de la région Paca
 C : Carbone élémentaire
 CERTU : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
 CETE : Centre d'Etudes Techniques du Ministère de l'équipement
 CETUR : Conseil Etudes de Travaux Urbains et Ruraux
 CO : monoxyde de carbone
 CO₂ : dioxyde de carbone
 COV: Composés organiques volatils
 dB(A) : décibel pondéré A
 IFSTTAR : Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
 Lig'Air : Association agréée de surveillance de la qualité de l'air de la région de la région Centre
 NO₂ : dioxyde d'azote
 NO_x : oxydes d'azote
 O₃ : ozone
 ORAMIP : Association agréée de surveillance de la qualité de l'air de la région Midi-Pyrénées
 PL : Poids lourd
 PM : particules, les PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁ correspondent respectivement à un diamètre aérodynamique de 10, 2,5 et 1 micron.
 SETRA : Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
 TMJA : trafic moyen journalier annuelle
 VL : Véhicule léger

SYNTHESE

Les limitations de vitesse ont généralement pour objectifs de réduire les accidents et leurs gravités, ainsi que de fluidifier le trafic. Cette mesure peut concerner les axes à vitesses rapides ou modérées ainsi que les zones urbaines (zone 30, zone de rencontre, aire piétonne).

Ces limitations sont également proposées comme moyen pour limiter les nuisances et les impacts environnementaux du trafic routier (qualité de l'air, climat, énergie, bruit). Il est généralement considéré que la diminution de la vitesse réduit les consommations de carburant et les émissions unitaires de polluant. Cependant, plusieurs autres facteurs interviennent (type et âge des véhicules, pente de la voie, charge, fluidité du trafic, conditions de circulation,...etc) ce qui rend plus complexes la relation entre vitesse et pollution de l'air.

L'objet de cette étude est une analyse bibliographique des travaux d'évaluation des impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air. Les impacts sur le bruit et les émissions de CO₂ ont également été analysés. Dans la centaine de travaux collectés sur ce sujet, l'évaluation des impacts est étudiée selon deux méthodes: le calcul théorique des émissions des véhicules couplé le plus souvent à une modélisation (correspond à la majorité des études), ou la mesure in situ des impacts sur la qualité de l'air et bruit. En effet, au-delà des effets théoriques des limitations de vitesse, la mesure in situ des impacts sur la qualité de l'air ou le bruit est indispensable afin d'en évaluer les bénéfices réels.

Sur les **voies rapides de type route/autoroute (130-120 km/h à 110-90 km/h / 90-80 km/h à 80/70 km/h)**, la majorité des études montre un effet plutôt positif sur les émissions et les concentrations de polluants. La baisse des émissions peut atteindre 20% pour les oxydes d'azote et les PM10 et celle des concentrations de polluants dans l'air ambiant pouvant atteindre 8% selon les polluants. La limitation de vitesse permet d'agir sur le trafic en le fluidifiant et en réduisant la congestion. Le passage de 80 à 70 km/h d'une voie congestionnée favorise généralement la fluidité du trafic.

Sur les **voies urbaines (50 km/h à 30 km/h)**, les **résultats sont plus contrastés**. Il faudra tenir compte de l'impact de la limitation de vitesse sur la congestion. Des variations importantes peuvent être constatées en fonction des scénarios choisis ou des typologies de zone, mais aucune tendance ne se dégage nettement (des évolutions allant

de -40% à +30% pour les concentrations de NO₂, de -45% à +100% pour les concentrations de benzène).

De même, la limitation de vitesse ne conduit pas toujours à une baisse du niveau de bruit. Pour des faibles vitesses de circulation, des éléments peuvent alors apparaître comme générateurs du bruit routier : aménagement, revêtements de chaussées, débit élevé et nature du trafic...

L'ensemble des études concluent à une réduction généralement faible des émissions sonores avec les vitesses. Cette baisse varie de 0,2 à 3 dB(A) et tend à être plus significative pour des réductions de vitesse entre 50 et 90 km/h (1 à 1,5 dB(A)) par rapport à celles entre 90 et 130 km/h (0,7 à 1 dB(A)).

Au final, sur les voies urbaines de nombreux facteurs influent sur la réalité des émissions (de polluants, sonores) et des concentrations atmosphériques. Dans ces zones, l'effet de la limitation de vitesse sur la congestion est le déterminant majeur des émissions liées au trafic en ville car il entraîne une baisse de la vitesse de circulation et une surémission de polluants, ainsi que l'augmentation du niveau sonore aux abords des voies concernées.

Les effets liés à d'éventuels reports du trafic sur des zones proches nécessiteraient enfin d'être pris en compte, tout comme la remise en suspension, au passage des véhicules, des particules déposées sur la chaussée (les quantités remises en suspension sont liées à la vitesse des véhicules).

Conclusions de l'ADEME :

Au-dessus de 70 km/h, les réductions de vitesse ont un effet plutôt positif sur les émissions de particules et d'oxydes d'azote. En dessous de 70 km/h, cet effet est plutôt négatif. En pratique, la situation est plus complexe puisqu'il faut tenir compte notamment de l'effet de la limitation de vitesse sur la congestion. Le passage de 80 à 70 km/h d'une voie congestionnée va dans le bon sens pour la qualité de l'air, car il favorise la fluidité du trafic. Une évaluation a posteriori serait toutefois nécessaire pour évaluer finement les effets réels sur la qualité de l'air.

L'analyse des impacts réels sur la qualité de l'air des limitations de vitesses tend à montrer des gains pour des réductions de vitesse aux vitesses élevées, et une situation beaucoup plus contrastée pour des réductions de vitesse aux vitesses faibles, en particulier le passage de 50 à 30 km/h.

Le passage de 50 à 30 km/h en agglomération peut également permettre un apaisement du trafic, et conduire à un meilleur partage entre les différents modes de déplacement (marche, vélo, voiture et transports en commun), dans une logique d'optimisation de l'utilisation de l'espace public. A terme, le passage de 50 à 30 km/h devrait donc permettre de favoriser les modes de transport les moins polluants et reste, pour l'ADEME, une solution à étudier, dans les conditions particulières de chaque projet.

Afin de réduire l'impact du trafic routier sur la qualité de l'air, l'ADEME¹ recommande d'agir prioritairement sur le parc roulant de véhicules anciens très émetteurs de particules et d'oxydes d'azote, en particulier le parc Diesel non équipé de filtres à particules fermés (véhicules particuliers et véhicules de livraison ainsi que flottes captives (taxis, bus...) circulant dans les agglomérations)

INTRODUCTION

Les limitations de vitesse ont pour objectifs de réduire les accidents et leurs gravités, ainsi que de fluidifier le trafic. Cette mesure peut concerner les axes à vitesses rapides ou modérées ainsi que les zones urbaines (zone 30, zone de rencontre, aire piétonne). Ces limitations sont également proposées comme moyen pour limiter les nuisances et les impacts environnementaux du trafic routier (air, climat, énergie, bruit). Il est généralement considéré que la diminution de la vitesse réduit les émissions sonores ou polluantes sans pour autant que cette réduction n'ait été évaluée selon un référentiel défini. Aussi, le développement des politiques de réduction et de limitation de vitesse en France nécessite de valider les bénéfices envisageables afin d'assurer que ces mesures n'engendrent pas d'effets antagonistes.

Les impacts envisagés dans cette étude visent trois volets : la qualité de l'air (ainsi que les émissions de polluants atmosphériques), les émissions de gaz à effet de serre (et donc le climat) et les émissions sonores. La mise en évidence des impacts passe par un état des connaissances actuelles, **objet de la première partie de l'étude**. Cette étude bibliographique recense et synthétise les études et retours d'expérience faites sur le sujet. Elle présente également les moyens mis en place pour évaluer ces impacts. **Dans la deuxième partie**, les facteurs de divergence entre les outils sont traités pour permettre une compréhension des résultats de la bibliographie.

Enfin, une dernière partie fait des recommandations pour une meilleure évaluation des impacts des limitations de vitesse sur l'environnement.

¹ Avis ADEME : Emissions de particules et de NOx par les véhicules routiers, Juin 2014.

PARTIE A : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Contexte

L'objectif principal de l'abaissement des vitesses maximales autorisées sur les tronçons routiers est de réduire les accidents et leurs gravités. Cette mesure peut concerner les axes à vitesses rapides ou modérées ainsi que les zones de circulation des centres-villes. Sur voie rapide, c'est un outil de gestion du trafic qui le fluidifie en diminuant l'apparition de phénomènes de congestion et en facilitant leur résorption. En zone urbaine, la réduction des vitesses est également présentée comme un outil de réappropriation de l'espace urbain pour que l'ensemble des usagers puisse cohabiter et que la vie locale puisse s'exprimer. L'article R.110.2 du code de la route (modifié en application du décret n°2008-754 du 20 juillet 2008) définit les différents types de zones où le trafic routier est régulé (aires piétonnes, zones de rencontre et zones 30).

Ces réaménagements de vitesse sont également proposés comme moyen pour limiter les nuisances et les impacts environnementaux du trafic routier (1). Il est généralement considéré que la diminution de la vitesse réduit les émissions sonores ou polluantes sans pour autant que cette réduction n'ait été évaluée selon un référentiel défini. Aussi, le développement de l'abaissement des limitations de vitesse en France nécessite de valider les bénéfices envisageables afin d'assurer que ces mesures n'engendrent pas des effets antagonistes. La mise en évidence de telles contraintes passe dans un premier temps par un état des connaissances actuelles, objet de ce document.

Les impacts environnementaux concernent essentiellement trois volets : la qualité de l'air, les nuisances sonores, le climat et la consommation d'énergie. Le climat et la dépense énergétique sont indissociables et relèvent d'une seule et même problématique car les émissions de gaz à effet de serre par le secteur du transport routier sont directement liées à la consommation de carburants fossiles. Il ressort que l'évaluation de ces impacts peut être entreprise selon deux méthodes :

- Le calcul des émissions couplé ou non à une modélisation de la dispersion
- La mesure in situ.

Ces méthodes sont complémentaires et ont chacune des limites qu'il convient de rappeler. Les conclusions des études bibliographiques considérées ici seront discutées selon une approche transversale afin de comparer les résultats en fonction des caractéristiques des sites d'expérimentation et des méthodes d'évaluation utilisées.

L'étude bibliographique s'est principalement centrée sur des études en France et en Europe, en raison des différences d'urbanisme et de parc automobile trop importantes avec les pays des autres continents. Certaines études scientifiques hors Europe ont néanmoins été prises en compte lorsqu'elles donnaient des informations sur les outils d'évaluation des impacts.

La phase de recueil bibliographique a permis de collecter 139 documents. Parmi eux, 45 ont été exploités dans le cadre de la problématique. Les autres documents recueillis ne traitent que des impacts environnementaux des zones de limitation de vitesse, et présentent pour la plupart une généralité sur ces zones (zones 30, zones de rencontre...). Les études (31%), les articles scientifiques (29%) et les rapports (15%) constituent la majorité des documents analysés, essentiellement autour des thématiques de la qualité de l'air et des émissions de CO₂ (62%)

I. Impact sur l'air et le climat

I. 1. Moyens d'évaluation

Les impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air sont évalués selon deux méthodes :

- Par des mesures in situ le plus souvent réalisées avant et après la mise en place de la réduction de vitesse
- Par des calculs d'émissions de polluants pouvant être repris dans des modèles de dispersion atmosphérique. Le calcul des émissions dépend de courbes d'émissions croisées aux données de trafic. Le choix du modèle de dispersion dépend de la zone étudiée.

De nombreux modèles de calcul d'émissions et de modélisation peuvent être utilisés (annexe 1). Ces choix dépendent des objectifs des études, de l'accessibilité des outils ou des développements internes des organismes. Les méthodologies de calcul des émissions se décomposent en deux approches :

- L'approche macroscopique regroupe les modèles agrégés et semi-agrégés. Ces modes de calcul utilisent des lois d'émissions selon une variable représentative du mode de conduite : la vitesse pour les modèles agrégés (méthode COPERT) et les conditions de trafic pour les modèles semi-agrégés (méthode ARTEMIS).
- L'approche microscopique considère chaque véhicule comme un émetteur. Le modèle utilise alors les conditions de circulation du véhicule, le plus souvent issues d'une modélisation de trafic, en prenant non plus une variable agrégée mais un grand nombre de paramètres (2).

Les études réalisées à partir de campagnes de mesures sont peu nombreuses par rapport à celles basées sur des modélisations, et ce quel que soit le type de zones de limitation concerné (zone 30, routes, autoroutes...). Néanmoins, sur les 45 études retenues, six études ont évalué l'impact de la réduction de vitesse par des moyens métrologiques. Trois portent sur les voies rapides et les trois autres sur les voies urbaines. :

- Une étude britannique de 2006 a réalisé sur six zones 30 au Royaume-Uni des mesures à l'aide d'échantillonneurs passifs pour suivre les concentrations en dioxyde d'azote et benzène (3). L'auteur précise qu'avant cette étude, peu de

campagnes de mesure ont été réalisées sur les impacts environnementaux des zones 30.

- Deux études néerlandaises ont utilisé des moyens de mesures en continu pour évaluer les teneurs en particules et en oxydes d'azote, lors de la mise en place d'une limitation de vitesse sur autoroute (4) (5).
- Trois études françaises portent sur des mesures dans le cadre des PPA. Deux études du Lig'Air portent sur des mesures en zone 30 par échantillonneurs passifs (6) (7) et une étude d'ORAMIP porte sur des mesures (méthodes non précisées) sur un périphérique (8).

Même si l'on s'appuie sur ces deux grands types d'évaluation (modélisation, mesure) pour estimer les impacts sur l'environnement, il nous est apparu à la lecture de ces documents que l'analyse serait plus pertinente si elle se basait sur la typologie des voiries : les voies rapides (vitesse maximale supérieure à 50 km/h) - voies urbaines (vitesse maximale inférieure à 50 km/h).

I. 2. Voies rapides

Sur ces voies, les limitations de vitesse correspondent aux réductions de 130 à 110-90 km/h ; de 120 à 90-80 km/h ; de 110 à 90 km/h ; de 100 à 80 km/h ; de 90 à 70 km/h.

Sur les 45 documents, 16 études ont été réalisées sur les impacts environnementaux des zones de limitations de vitesses sur les routes et les autoroutes. Parmi les seize études présentées, quinze utilisent un modèle de calcul des émissions, neuf modélisent la dispersion des polluants, deux couplent de la modélisation et de la mesure in situ et une n'utilise que de la mesure pour évaluer l'impact des émissions (tableau 1).

Les résultats des études sont présentés sous forme de tableaux de façon à mettre en avant les principales méthodologies d'évaluation : par calcul selon un modèle macroscopique (agrégé ou semi-agrégé ; tableau 2), par calcul selon un modèle microscopique (tableau 3) ou par des mesures in situ (tableau 4). Dans chaque tableau, les vitesses de circulation avant et après la limitation sont précisées. Les résultats sur les concentrations sont présentés en noir et les estimations sur les émissions en bleu. L'absence d'impact de la limitation de la vitesse est signalée par une flèche horizontale ⇔. Les études abordant plusieurs approches sont réparties sur les différents tableaux.

Méthode d'évaluation	Référence	Intitulé de l'étude	Organisme
Calcul des émissions	(2)	Estimation des impacts atmosphériques des projets de gestion de trafic : de l'application des modèles théoriques sur des cas concrets	IFSTTAR
	(9)	Impact des mesures d'urgence sur la qualité de l'air en cas de pic de pollution - Application à l'agglomération de tourangelle	Lig'Air
	(10)	Impact de la réduction permanente de la vitesse sur l'A9	CETE Méditerranée
	(11)	Plan de déplacement Urbain du grand Nancy : Evaluation et mise en œuvre	Nancy
	(12)	PM, Nox and CO ₂ emissions reduction from speed management policies in Europe	VITO / IMOB
Calcul des émissions couplé à un modèle de dispersion	(13)	Air quality models sensitivity to on-road speed representation: Effects on air quality of 80 km/h speed limit in the Barcelona Metropolitan area	Université de catalogne
	(14)	The impact of reducing the maximum speed limit on motorways in Switzerland to 80 km/h on emissions and peak ozone	Laboratory of atmospheric chemistry
	(15)	Reducing speed limits on highways : dutch experiences and impact on air pollution, noise-level, traffic safety and trafic flow	Centre de recherche des transports Néerlandais
	(16)	Modeling the effects of a speed limit reduction on traffic-related elemental carbon (EC) concentrations and population exposure	VITO
	(17)	Air pollution impacts of speed limitation measures in large cities : the need for improving trafic data in a metropolitan aera	Environmental Modelling Laboratory (Barcelone)
	(18)	Impact de la réduction de vitesse sur la qualité de l'air en proximité des autoroutes strasbourgeoises	ASPA
	(19)	Réduction de vitesse et qualité de l'air - Etude relative à l'autoroute A9 au droit de Montpellier	Air Languedoc Roussillon
	(20)	Impact de la réduction de vitesse sur la pollution à l'ozone	AtmoPaca
Mesures in situ	(5)	Air quality effects of urban highway speed limit reduction	Municipal Health Service Amsterdam
Mesures in situ et calcul des émissions	(8)	Plan de protection de l'atmosphère - Bilan de la qualité de l'air - Mesure B1 : réduction de vitesse sur le périphérique toulousain - été 2006	ORAMIP
Mesures in situ, calcul des émissions/modélisation	(4)	Reduced Nox and PM10 emissions on urban motorways in the Netherlands by 80 km/h speed management	TNO / RIVM

Tableau 1 : Etudes d'évaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air utilisés pour les études sur voies rapides

Réf.	Vitesse initiale	Vitesse finale	Limitation sur les PL	NO ₂	NO _x	PM (non précisé)	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	Benzène	COV	C	CO ₂	O ₃
(2)	90	70	70		Agrégé :+2% Semi-agrégé :+4%	Agrégé :-1% Semi-agrégé : -3%			Agrégé :-2% Semi-agrégé :-23%				Agrégé :+2% Semi-agrégé : +4%	
(4)	Rotterdam : 100 Amsterdam : 80	80	80	-21 à -24 %			-16 à -20 %							
(8)	110	90	90		-10%		-18 à -20%		-25%		-8,60%		-10%	
(13)	120 (sur certains axes)	80	80		-5,7 %		-3%				↔			↔
(14)	120	90	90		-7,70%						↔			-1%
(16)	120	90	90				-13%	-14%						
(17)	100-120	80	80		-10,98% -5 à -8%	-3%	-10,99%	-12,47%	-14,81%				-10,40%	↔
(9)	130 ou 110	90	90		-3%		-9%		-8%	-16%	-11%			
(18)	100 ou 90	90 ou 70	70		100 à 90 : -8 % 90 à 70 : -10 % -1 à -2 µg/m ³		100 à 90 : -7 % 90 à 70 : -6 % -1 µg/m ³			100 à 90 : -1% 90 à 70 : +11%	100 à 90 : -0,3% 90 à 70 : +11%			
					100 à 90 : -3 % 90 à 70 : -4 % -0,5 µg/m ³		100 à 90 : -2 % 90 à 70 : -3 % Moins de 1 µg/m ³		100 à 90 : -0,1% 90 à 70 : +5%	100 à 90 : -0,1% 90 à 70 : +5%				
(19)	110	90	70		+6% +1 à +2 µg/m ³		+2%			↔			+2%	
(10)	130 ou 110	90	90		-17%	-14%				-28%			-17%	
(11)	110	90	90		-10%	-25%				-8%				
(12)	90	80	80		+3%	+4%							-6%	
(20)	130,110, 90	-30 limite à 70	limite à 70	-1 µg/m ³	-3,25%		-3,46%			-0,26%		-5,47%	-3,13%	Baisse qqs µg/m ³

(18) Calcul réalisé en dehors des heures de pointes de trafic ; (12) uniquement réalisé pour un parc de PL ; les estimations sur les concentrations sont en noir et les émissions sont en bleu.

Tableau 2 : Evaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par une méthode de calcul macroscopique

Réf.	Vitesse initiale	Vitesse finale	Limitation sur les PL	NO ₂	NO _x	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	Benzène	COV	C	CO ₂	O ₃
(2)	90	70	70		4%	-5%			-7%				-4%	
(15)	120	90			-8 à -19% -0,5 à -6%									
(12)	90	80	80		-11 à -29%	-16 à +3%							-9 à -16 %	

(12) Uniquement réalisé pour quatre PL ; les estimations sur les concentrations sont en noir et les émissions sont en bleu.

Tableau 3 : Evaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par une méthode de calcul microscopique

Réf.	Vitesse initiale	Vitesse finale	Limitation sur les PL	NO ₂	NO _x	PM	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	Benzène	COV	C	CO ₂	O ₃
(4)	Rotterdam : 100 Amsterdam : 80	80	80	-30%			-8%							
(5)	100	90			↔		-2,2 µg/m ³							
(8)	110	90												

(8) Aucune information chiffrée sur les mesures ; les estimations sur les concentrations sont en noir et les émissions sont en bleu.

Tableau 4 : Evaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par une méthode mesures in situ

Dans 75% des études (12 études sur 16), la limitation de vitesse sur les routes et les autoroutes entraîne une diminution des émissions et/ou des concentrations de polluants (tableau 2, tableau 3 et tableau 4). Les résultats restent cependant dispersés et fortement dépendant des spécificités des axes et des zones étudiées.

Il ressort également qu'après abaissement de la vitesse maximale autorisée, si celle-ci est fixée au minimum à 80 km/h, les émissions ou les concentrations sur l'ensemble des polluants présentent généralement une diminution. Des exceptions sont toutefois constatées :

- Lorsque le calcul des émissions ne concerne que le parc de PL (12). Les émissions augmentent pour les NO_x et les PM mais en revanche diminuent pour les émissions de CO₂.
- Certaines études ne mettent pas en évidence de modification sur les émissions ou les concentrations, notamment dans le cas d'une évaluation des concentrations des NO_x par mesures in-situ. Dans ce dernier cas, des concentrations de fond trop variables n'ont pas permis d'évaluer l'impact du trafic routier (5). En effet, la méthode par mesure in situ est très sensible aux paramètres extérieurs autres que la variation des émissions routières. Dans le cas de modélisations régionales, les concentrations en COV ne présentent pas non plus de variation entre « avant » et « après » la réduction de vitesse (13) (14). En effet, les émissions de COV à l'échelle régionale sont largement influencées par d'autres sources anthropiques et naturelles.

Pour une limitation de vitesse fixée à 70 km/h, la dispersion des résultats est plus importante. Ils dépendent en partie :

- De la proportion de Poids Lourds (PL) dans le trafic. En effet pour une diminution à 70 km/h, les émissions des Véhicules Légers (VL, réunissant les voitures particuliers et les véhicules utilitaires légères) décroissent avec la vitesse alors que les émissions des PL subissent une augmentation (annexe 2). Ainsi lorsque le trafic de PL devient trop important, les surémissions des PL ne sont plus contrebalancées par la diminution des émissions des VL.
- Du différentiel de réduction de vitesse. La baisse des émissions pour les VL est plus importante pour une vitesse initiale élevée. Ce bilan positif permet d'absorber les surémissions des PL.

L'ozone qui est un polluant secondaire dépend des concentrations de nombreux précurseurs. L'estimation de l'impact des limitations de vitesses sur ce composé passe d'abord par l'estimation des rejets de ces précurseurs dans l'atmosphère avant de les injecter dans un modèle photochimique. Les conclusions de ces quatre études sont mitigées. Deux études prévoient, aux abords de la voie, une diminution faible des concentrations de l'ordre de 1 % (14) ou de quelques µg/m³ (20). Les deux autres études disponibles ne prévoient pas de changement (13) (17). En revanche, toutes ces études s'accordent sur une augmentation des concentrations en centre urbain due à la diminution des oxydes d'azote.

Une étude a également modélisé spécifiquement sur autoroute l'effet d'un abaissement de vitesse de 110 à 90 km/h sur les concentrations en carbone élémentaire particulaire et constate une baisse significative de 30 % (16).

I. 3. Voies urbaines

Les documents étudiés concernent uniquement les zones 30 (réduction de vitesse de 50 à 30 km/h).

Parmi les 8 études présentées, 6 utilisent un modèle de calcul des émissions, 3 modélisent la dispersion des polluants, une couple de la modélisation et de la mesure in situ et deux n'utilisent que de la mesure pour évaluer l'impact des réductions de vitesse sur les émissions et la qualité de l'air (tableau 5).

Méthode d'évaluation	Référence	Intitulé de l'étude	Organisme
Calcul des émissions	(21)	Assessment of the impact of speed limit reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach	Université de Gent, Belgique
	(22)	Lower urban speed limits	T&E
	(23)	Impact of 30 km/h zone introduction on vehicle emissions in urban areas	VITO
Calcul des émissions couplé à un modèle de dispersion	(24)	Simulation de l'impact des aménagements urbains sur la qualité de l'air	Lig'Air
	(25)	Approche microscopique pour l'estimation des nuisances environnementales de politiques de gestion du trafic	LICIT
Mesures in situ	(6)	Plan de protection de l'atmosphère - Orléans - Concentration et émissions en zone 30 - 2006	Lig'Air
	(7)	Plan de protection de l'atmosphère - tours - Concentration et émissions en zone 30 - 2007	Lig'Air
Mesures in situ, calcul des émissions/modélisation	(3)	Air quality impacts or speed-restriction zones for road traffic	Département des sciences de l'environnement et géographique de Manchester

Tableau 5 : Type d'outils d'évaluation utilisé pour les études « air » dans les zones urbaines

Le tableau 6 et le tableau 7 présentent les résultats des études sur voies urbaines pour les principaux polluants atmosphériques. Les deux tableaux distinguent les évaluations par calcul et par mesures in situ. Les résultats sur les concentrations sont en noir et les estimations sur les émissions en bleu.

Réf.	type de modèle de calcul des émissions	NO ₂	NO _x	PM	CO	Benzène	COV	CO ₂
(3)	Agrégé		0 à +9%			+13 à +38%		
(24)	Agrégé	+4 à +15%						
(22)	?		-40%		-45%		+5%	-15%
(23)	Agrégé		+2 à +5 %	+3 à +8 %				+1 à +4 %
	Instantané		-21 à +2,5%	-33 à -9%				-9 à +6%
(21)	instantané		-26,7%					-26,8%
(25)	Instantané	+83,7 à +96,8%			+83,7 à +96,8%		+83,7 à +96,8%	+57 à +68%

(21) Etude partant de l'hypothèse d'une réduction du trafic ; (23) Étude réalisée sur 2 types de véhicules ; (25) Etude réalisée avec des dos d'âne ; les estimations sur les concentrations sont en noir et les émissions sont en bleu.

Tableau 6 : Evaluation des émissions et des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie urbaine par une méthode de calcul

Réf.	NO ₂	NO _x	PM ₁₀	Benzène
(3)	-13 à 10%			-35 à +36%
(6)	-19,5 à +28%			-5 à +32%
(7)	-48 à +30%			-47 à +95%

Les estimations sur les concentrations sont en noir et les émissions sont en bleu.

Tableau 7 : Evaluation des impacts sur la qualité de l'air lors d'une réduction de la vitesse sur voie urbaine par une méthode mesures in situ

Contrairement aux axes rapides aucune tendance sur les concentrations ou les émissions ne semble se dégager. Les résultats des études réalisées sur les aménagements urbains présentent des variations importantes en fonction des scénarios choisis ou des typologies de zone.

Toutefois, il ressort pour les études par mesures in situ, des résultats nettement plus dispersés que par le calcul :

- Une étude anglaise réalisée à partir des mesures sur six zones 30 présente des pourcentages de variation de concentration entre l'état avant et après l'implantation de la limitation de vitesse de -13 à +10% pour le NO₂ et de -35 à +36 % pour le benzène. Cette même étude obtient par modélisation des résultats moins dispersés, de 0 à -9% pour le NO₂ et de +13 à +38% pour le benzène (3).
- Lig'Air a testé 6 zones 30 sur Orléans (7) et 6 zones 30 sur Tours (7). La méthodologie utilisée est différente de l'étude anglaise car les mesures ont été réalisées uniquement après l'implantation de la zone 30. Des échantillonneurs passifs ont été positionnés le long de la voie au niveau et à l'extérieur de la zone apaisée. Les pourcentages de variation présentés dans le tableau sont les différences entre les concentrations à l'intérieur et à l'extérieur de la zone. Cette méthode obtient des résultats encore plus dispersés avec des gammes de variations de -48 à +30 % pour le NO₂ et de -47 à + 95% pour le benzène.

Lig'Air a également simulé l'impact de deux moyens coercitifs : un dos d'âne et une chicane. Ces deux outils de gestion de la vitesse aboutissent à une augmentation des émissions avec toutefois un effet plus limité pour les chicanes (24).

En fonction du type de modèle de calcul d'émissions, les conclusions sur l'impact de l'implantation d'une zone 30 s'opposent. Les études ayant utilisées des modèles microscopiques montrent une diminution des émissions (21) (23) hormis pour l'étude (25) qui a réalisé des essais avec l'implantation de dos d'âne. Au contraire, les modèles macroscopiques tendent vers une augmentation des émissions (3) (24) (23).

II. Impacts sur les émissions sonores

II. 1. Moyens d'évaluation

Différentes grandeurs sont utilisées pour qualifier l'impact des émissions sonores liées aux infrastructures routières :

- Niveau sonore continu équivalent pondéré A (L_{Aeq}) utilisé en France pour qualifier un point donné pendant une période donnée. Deux valeurs de L_{Aeq} sont définies pour caractériser les périodes diurnes et nocturnes (6h-22h et 22h-6h)
- Niveaux sonores moyennés sur différentes périodes (L_{day} , $L_{evening}$, L_{night}) définis au niveau européen pour différencier trois périodes de la journée (6h-18h, 18h-22h et 22h-6h).
- Indicateur de niveau de bruit global (L_{den}) calculé à partir de L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} , il permet de qualifier la gêne liée à l'exposition au bruit.
- Indicateurs statistiques de fréquence de dépassement, par exemple L_1 et L_{90} qui correspondent au niveau de bruit dépassé pendant respectivement 1% et 90% du temps.
- Niveau de puissance acoustique L_w , exprimé en dB. Cette grandeur permet d'évaluer la puissance acoustique que génère une source sonore linéique.

Les impacts des limitations de vitesse sur ces niveaux sonores sont évalués selon deux méthodes :

- La mesure in situ par sonomètre, réalisée avant et après la mise en place de la réduction de vitesse.
- Le calcul à partir de modèles de simulation. D'après le guide pour l'élaboration des plans de prévention du bruit pour l'environnement de l'ADEME (26), le niveau de précision acoustique estimé par calcul dépend de la qualité des données d'entrées. Leurs précisions doivent être en adéquation avec les objectifs de l'étude et les moyens disponibles. Si ces données sont approximées, les calculs peuvent mettre en évidence une tendance. Néanmoins, il est nécessaire d'affiner les paramètres d'entrée pour pouvoir considérer comme fiables les variations des niveaux sonores. La réalisation ou non d'une approximation permet de distinguer deux types de calcul : les modèles considérant le trafic comme un flux continu, caractérisé par un débit ; et les modèles représentant l'écoulement à l'échelle des véhicules, caractérisés par leur vitesse et leur accélération.

II. 2. Voies rapides

Différentes études ont été menées pour évaluer les effets de la mise en œuvre de limitations de vitesse sur les émissions sonores. Le tableau 8 présente les outils d'évaluation utilisés.

Réf.	Intitulé de l'étude	Organisme	Métrologie	Calcul des émissions	Modélisation
(15)	Reducing speed limits on highways: Dutch experiences and impact on air pollution, noise-level, traffic safety and traffic flow	Association for European Transport and contributors	Non	Oui	Oui
(10)	Impacts de la réduction permanente de la vitesse sur l'A9	CETE Méditerranée	Non	Oui	Oui
(11)	Plan de déplacements urbains du Grand Nancy, Evaluation et mise en œuvre	Communauté urbaine du Grand Nancy	Non	Oui	Non
(26)	Guide pour l'élaboration des plans de prélèvement du bruit dans l'environnement	ADEME	Non	Oui	Non
(27)	Constat sonore après la mise en service de la déviation ouest de Sarlat La Cadena par la RD 704	Orfea Acoustique	Oui	Non	Non

Tableau 8 : Type d'outil d'évaluation utilisé pour les études « bruit » sur voies rapides

Le tableau 9 et le tableau 10 présentent les résultats des études sur voies rapides pour les émissions sonores. Les deux tableaux distinguent les évaluations par calcul et par mesures in situ.

Références	Vitesse initiale (km/h)	Vitesse finale (km/h)	Réduction de la vitesse	Emissions sonores (dB(A))
(26)			Réduction de 10 km/h dans la gamme 90-130 km/h	-0,7 à -1
			Réduction de 10 km/h dans la gamme 50-90 km/h	-1 à -1,5
(27)	90	70		-9,5 à +7

Tableau 9 : Evaluation de l'impact sur les émissions sonores lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par mesures in-situ ou abaques réalisées à partir de mesures in-situ

Références	Vitesse initiale (km/h)	Vitesse finale (km/h)	Réduction de la vitesse	Emissions sonores (dB(A))
(15)	120 ou 100	80		-0,2 à -1,3
(10)	130	110 ou 90		-0,6 à -1,9
(11)			Réduction de 10 km/h pour des vitesses supérieures à 50 km/h	-3

Tableau 10 : Evaluation de l'impact sur les émissions sonores lors d'une réduction de la vitesse sur voie rapide par une méthode de calcul

L'ensemble des études présentées concluent à une réduction généralement faible des émissions sonores avec les vitesses. Cette baisse varie de 0,2 à 3 dB(A) et tend à être plus significative pour des réductions de vitesse entre 50 et 90 km/h (1 à 1,5 dB(A)) par rapport à celles entre 90 et 130 km/h (0,7 à 1 dB(A)) (26).

La variation du niveau sonore dépend également du parc automobile. En effet, à vitesse égale, la diminution sonore moins importante sur les véhicules lourds couvre la baisse attendue sur les véhicules légers. Ainsi, une part importante des poids lourds peut absorber tout le bénéfice de la réduction de vitesse sur les véhicules légers (15). Pour cette raison, la diminution des émissions sonores est jugée moins perceptible la nuit, car la part des poids lourds est plus importante qu'en journée (10).

Dans le cadre d'une étude, Orfea Acoustique (27) a réalisé deux campagnes de mesures pour évaluer l'impact d'une diminution de la limitation de vitesse :

- Une première campagne en août 2010 avec une limite de vitesse de 90 km/h
- Une deuxième campagne en décembre 2010 avec une limite de vitesse de 70 km/h

Des mesures de niveau sonore ont été réalisées en façade d'habitation situées à des distances supérieures à 100 m de la voie. Les résultats obtenus présentent des différences de -9,5 à 7 db(A). Cette variabilité des résultats pourrait s'expliquer par des fluctuations du niveau sonore résiduel (niveau sonore en l'absence du bruit routier), les conditions météorologiques et la distance grande entre la source et le récepteur. En ce qui concerne les fluctuations du niveau sonore résiduel, le trafic routier n'était pas suffisant pour que son impact soit significatif par rapport au bruit résiduel. (28)

II. 3. Voies urbaines

A travers les études sur les émissions sonores, les outils d'évaluation utilisés sont décrits dans le tableau suivant (tableau 11), ainsi que les résultats obtenus (tableau 12) :

Réf.	Intitulé de l'étude	Organisme	Evaluation de l'impact par métrologie	Calcul d'émissions	Modélisation
(28)	Guide du bruit des transports terrestres	CETUR	Non	Oui	Non
(29)	Fiche n°3 : Impact acoustique des aménagements de voirie en urbain – Zones 30 Nantes	CERTU	Oui	Non	Non
(30)	Les zones à statut spécifique et leur influence sur le bruit routier	IBGE	Non	Oui	Non
(31)	Le bruit à Bruxelles	IBGE			

(32)	Comprendre les nuisances sonores routières pour les prendre en compte dans un projet d'aménagement de voirie	CERTU	Oui	Non	Non
------	--	-------	-----	-----	-----

Tableau 11 : Type d'outil d'évaluation utilisé pour les études « bruit » sur voies lentes

Références	Cadre de l'étude	Outils d'évaluation	Emissions sonores
(28)	Zone 30	Abaques	-3,4
(29)	Zone 30	Mesure	-0,5 à +2,2
(30)	Zone 30	Modélisation	-1,4 à -2,7
(31)	Zone 30		-2
(32)	Zone 30	Mesure	De -4 à + 2

Tableau 12 : Evaluation de l'impact sur les émissions sonores lors d'une réduction de vitesse dans les zones urbaines

Dans la plupart des études, une réduction de la vitesse est associée à une diminution du bruit.

Ainsi, l'IBGE met en évidence sur les zones 30, les zones de rencontre et résidentielles ainsi que les zones piétonnes une atténuation globale du bruit routier, plus ou moins importante selon la réduction du trafic (30) (31). Grâce à leur effet d'apaisement et de ralentissement du trafic, les zones 30 ont un impact positif sur l'environnement sonore à travers une baisse du bruit des véhicules allant de 1,4 à 2,7 dB(A). Selon le guide du bruit des transports terrestres publié par le CETUR, une diminution de 3,4 dB(A) est observée sur un revêtement standard, lors de l'implantation d'une zone 30 (28).

Néanmoins, la limitation de vitesse ne conduit pas toujours à une baisse du niveau de bruit. Ainsi, à travers les diverses expériences du CERTU, les résultats dépendent de l'aménagement et des revêtements de chaussées (29) (32). Les dos d'ânes semblent ainsi entraîner une augmentation du bruit dans la phase d'accélération (33). Par ailleurs, l'IBGE a étudié l'impact des différents aménagements locaux de voirie sur les émissions sonores (34) : une augmentation des émissions sonores peut être observée pour certains aménagements tels que les coussins. D'autres éléments peuvent être générateurs du bruit routier : débit élevé et nature du trafic, typologie des rues, comportement des conducteurs...

Les améliorations constatées sont ainsi souvent dues au report du trafic sur d'autres axes qui entraîne de fait une meilleure fluidité (31), une conduite apaisée des usagers, entraînant moins de freinages et d'accélération (35).

PARTIE B : FACTEURS DE DIVERGENCE DES OUTILS D'ÉVALUATION

III. Outils d'évaluation des émissions polluantes et de gaz à effet de serre

Les résultats des différentes études ayant évalué les impacts de l'abaissement de la limitation de vitesse sont très hétérogènes même si une diminution des émissions semble être le plus souvent observée. Les facteurs de divergence sont présentés dans ce chapitre en distinguant quand cela est nécessaire les axes rapides des zones urbaines.

III. 1. Le modèle de calcul des émissions

La plupart des évaluations, sur les axes rapides ou les voies urbaines, sont réalisées au travers de modèles de calcul d'émissions.

La majorité des modèles utilisés pour estimer les émissions de polluants, s'appuie sur une approche macroscopique ou agrégée (COPERT). Ce type de modèle calcule les émissions des véhicules du trafic routier dans des conditions moyennes de circulation pour plusieurs catégories de polluants et de véhicules. Néanmoins, ces modèles agrégés ou macroscopiques ne prennent pas en compte l'augmentation des cycles de décélération et d'accélération lors de la congestion du trafic. Ce paramètre est intégré dans l'approche microscopique qui considère les véhicules individuellement. Les émissions ne dépendent alors plus uniquement de la vitesse, comme pour les modèles agrégés, mais aussi du mode de conduite de l'utilisateur (cycle accélération / décélération) conditionné par la fluidité du trafic.

Une étude de l'IFSTTAR (2) a comparé 3 modèles d'émission (agrégé, semi-agrégé et unitaire) pour une diminution de la vitesse de 90 à 70 km/h sur l'A86. Leur conclusion montre globalement des différences par type de modèle et par polluant sans qu'une tendance ne se dégage. Par exemple, les émissions de CO₂ augmentent de 2 % pour le modèle agrégé, de 4% pour le modèle semi-agrégé alors qu'elles diminuent de 4% pour le modèle unitaire. Les trois modèles s'accordent toutefois sur certains polluants avec une diminution des PM et une augmentation des hydrocarbures et des NO_x mais avec des amplitudes de variations différentes.

Le « Flemish Institute for Technological Research » (VITO) et l'« Instituut voor Mobiliteit » (IMOB) (12) ont montré deux tendances différentes lors d'un passage de 90 à 70 km/h pour des poids lourds en utilisant un modèle macroscopique et microscopique. Le premier montre une augmentation modérée des émissions de NO_x et PM, alors que les résultats obtenus par le modèle microscopique présentent une diminution de ces émissions. Le même organisme constate également des

écarts entre les deux modèles pour une diminution des vitesses de 50 à 30 km/h (23).

Le choix du modèle semble fondamental pour réaliser une évaluation correcte des effets de l'abaissement de la vitesse limite et semble conditionner les conclusions des études.

La méthode microscopique qui apparaît comme l'approche la plus réaliste est également la plus contraignante et la plus coûteuse. Elle nécessite un grand nombre de données qui passe par l'utilisation d'un modèle de trafic qui doit être ajusté à l'axe étudié. Pour autant, les modèles macroscopiques peuvent présenter des résultats similaires en fonction des axes et des typologies de trafic.

III. 2. La vitesse de circulation

Le choix et la qualité des données qui caractérisent le trafic routier (vitesse, congestion, répartition PL/VL...) influencent directement les résultats des études.

La vitesse de circulation est le paramètre le plus important car il conditionne les facteurs d'émissions. Aussi dans une approche macroscopique, les études ayant appliqué une vitesse maximale autorisée à 70 km/h pour des axes initialement à 90 km/h observent de faibles diminutions des émissions voire une augmentation (20) (2) (9) (18) (19). En revanche lors d'une diminution des vitesses de 130 à 110 km/h la baisse des émissions est plus importante. Cette différence découle de la forme des courbes d'émissions en fonction de la vitesse (uniquement valable pour les modèles macroscopiques - annexe 1).

La vitesse peut également être définie de différentes façons en fonction de la précision des données de trafic disponibles. Certaines études utilisent directement, les vitesses maximales autorisées pour évaluer l'impact de la limitation de la vitesse sur les émissions (9) (10). Cette approximation ne permet que de dégager des tendances sans prendre en compte la spécificité de l'axe étudiée.

En fonction des études, la vitesse de circulation est représentée soit par une valeur moyenne constante soit par une donnée variable selon un pas de temps horaire, journalier ou mensuel. Cette distinction est fondamentale car la relation entre facteurs d'émissions et vitesse n'est pas linéaire. Aussi, la valeur d'émission calculée sur la moyenne d'un échantillon de vitesse ne peut correspondre à la moyenne des émissions sur chacune des vitesses. Les phénomènes de congestion entraînant des profils de vitesse très discontinus, une approche moyenne ne peut décrire précisément ces émissions. Une étude sur Barcelone a estimé la différence des émissions entre deux scénarios, l'un basé sur une vitesse moyenne et l'autre sur une vitesse variable (13). Les émissions pour le scénario à vitesse variable sont plus faibles de 5,6% pour les NO_x, de 5,1% pour le CO, de 4,8 % pour le SO₂ et de 5,1% pour les PM₁₀. Le fait d'intégrer des vitesses plus proches des conditions réelles de circulation entraîne une diminution des estimations plus fortes que la seule application de la limitation de vitesse en vigueur. Une meilleure évaluation de l'impact passe donc par une étude réelle des conditions de circulation. Le

pourcentage de congestion et les profils de vitesses semblent être des paramètres complémentaires qui apporteraient une plus grande précision sur l'évaluation des émissions polluantes.

La diminution de la vitesse joue un rôle important sur la fluidification du trafic. Sur les axes rapides, une baisse de la vitesse homogénéise le flux en favorisant l'utilisation de la voie lente (voie de droite sur les axes rapides) (36). Cette meilleure gestion des voies augmente la capacité du réseau et permet de retarder l'apparition des phénomènes de congestion et d'accélérer leur résorption. Ce phénomène de fluidification est pris en compte dans les modèles microscopiques mais ne l'est pas pour les outils agrégés (2).

Une connaissance de la dynamique du trafic est primordiale pour caractériser finement l'impact d'un axe routier. Toutefois, pour les axes routiers faiblement congestionnés, certaines études laissent entendre qu'une vitesse moyenne soit suffisante pour estimer les émissions.

III. 3. La congestion du trafic

La congestion du trafic contribue à une surémission des polluants quels que soient l'approche de calcul et le type de zone considérée :

- Dans un modèle macroscopique les émissions polluantes augmentent pour des vitesses faibles.
- Dans un modèle microscopique, les émissions sont plus importantes lorsqu'il y a augmentation de ces cycles de décélération et d'accélération

Une bonne connaissance des pourcentages de congestion permet d'adapter les facteurs d'émissions lors de l'utilisation d'un modèle semi-agrégé (4).

Lors d'évaluation par des mesures in situ, une connaissance de l'état de saturation d'un réseau permet d'expliquer les évolutions des concentrations en fonction de l'état du trafic.

L'étude du niveau de congestion d'un axe ou d'une zone est un élément majeur qui permet une évaluation plus réaliste des émissions ou de l'impact lors d'évaluation par mesures in-situ.

III. 4. Diminution et report de trafic

Toute évaluation par mesure in situ de l'impact d'un abaissement des limitations de vitesse doit être systématiquement associée à une caractérisation des conditions de trafic. L'objectif est de s'assurer qu'il n'y ait pas de modifications des concentrations liées à une modification de l'usage pour des raisons externes. En effet, l'origine des diminutions de trafic peut être :

- externe à la mesure de limitation de vitesse comme par exemple l'augmentation du prix du carburant qui modifierait le comportement des conducteurs

- ou directement lié à cette mesure par des reports de circulation sur des axes adjacents afin de contourner la zone à vitesse limitée.

Néanmoins, s'il s'avère que ces phénomènes sont liés, alors c'est un effet qui doit être intégré dans le bilan de l'étude en regardant les changements induits par ailleurs, l'idéal étant d'éliminer le poids des paramètres externes pour ne considérer que le bilan interne total.

Une étude anglaise ayant réalisée des mesures in-situ sur 6 zones 30 a constaté une diminution de la circulation sur cinq d'entre elles (3). Toutefois, malgré une forte baisse du trafic sur l'une des zones (divisé par cinq), une augmentation des concentrations en NO₂ et benzène a été mesurée. Ces résultats montrent que sans un contrôle du trafic, l'interprétation des données serait faussée. Une étude ayant utilisé une modélisation de trafic a estimé une diminution du parcours des véhicules de 14,1 % à l'intérieur d'une zone résidentielle limitée à 30 km/h (21).

Le report de trafic sur les axes adjacents à la zone de limitation de vitesse pose un problème pour l'interprétation des données. Ce biais peut être contourné en réalisant des mesures, lorsque cela est possible, sur une portion de l'axe étudié non soumis à la limitation de vitesse. L'objectif est d'évaluer l'impact de l'axe sans prendre en compte l'abaissement de la limitation de vitesse. Le report de trafic soulève également la question de l'impact de la mesure sur une échelle spatiale plus large que l'axe ou la zone étudiée. En effet, le contournement des voies où la vitesse serait réduite, pourrait entraîner des trajets pour les usagers plus longs.

III. 5. La répartition VL/PL

D'après les courbes d'émissions réalisées lors d'une étude (37), les poids lourds circulant à 70 km/h émettent 10 fois plus que les véhicules légers. Ces émissions augmentent à mesure que la vitesse diminue (annexe 2). La connaissance de la part des poids lourds dans le trafic de l'axe étudié est donc un facteur important pouvant modifier les conclusions d'une étude surtout pour les axes de transit de marchandises. Or beaucoup d'études ne renseignent pas ce paramètre ou utilisent des moyennes nationales sans prendre en compte la spécificité de la voie.

Le taux de poids lourds peut influencer l'estimation des émissions totales d'un axe routier surtout si des paramètres dynamiques sont utilisés (utilisation de vitesses réelles lorsque l'axe est congestionné).

III. 6. Les concentrations de fond

Suite aux calculs des émissions, une modélisation peut être envisagée pour évaluer l'exposition des riverains. L'utilisation des teneurs de fond du polluant modélisé ne modifie pas le bilan positif ou négatif de l'évaluation de la mesure de réduction des vitesses. Cependant, l'expression du différentiel en pourcentage est un mauvais choix malheureusement rencontré dans beaucoup d'études, qui ne permet pas d'exprimer la réalité du bilan positif ou négatif et qui pose des problèmes pour comparer différentes études entre elles. L'expression des résultats en valeur absolue est en revanche directement exploitable et facilite l'inter comparaison des études.

Ne pas utiliser les concentrations de fond ne remet pas en cause l'évaluation de la mesure de réduction de vitesse par modélisation (sans prendre en compte le problème spécifique de l'ozone qui nécessite une très bonne connaissance des teneurs de fond de ses précurseurs). En revanche lors d'une évaluation par moyens métrologiques, l'intégration des variations des concentrations de fond est fondamentale. La majorité des études évaluent ce paramètre en réalisant des campagnes de mesures sur des périodes suffisamment longues pour évaluer les variations saisonnières des polluants étudiés. Cette méthode permet de prendre en compte les variations de concentrations de fond de façon indépendante de celles du trafic routier dues à la modification de la vitesse de circulation. En revanche lorsque les fluctuations des concentrations de fond sont importantes, l'impact de l'évolution du trafic routier risque d'être masqué pour certains polluants (3) (5).

Les pourcentages de variation des études par modélisation qui intègrent les concentrations de fond ne peuvent être comparés directement à celles qui n'utilisent que les émissions du trafic routier. Ces dernières ne prennent pas en compte la pollution de fond. Dans le cas des évaluations par métrologie, les variations de concentrations de fond doivent impérativement être prises en compte sous peine de fausser les résultats.

Il est préférable d'utiliser des variations de concentrations en absolu plutôt que des pourcentages pour interpréter les résultats de l'étude.

III. 7. Modification des aménagements à proximité des voies

Lorsque des moyens métrologiques sont utilisés, il est impératif d'intégrer dans l'interprétation des résultats les modifications structurelles éventuelles aux abords des sites de mesures. En effet, l'installation de mur antibruit à proximité de la voie et des sites de mesures peut modifier de façon significative l'impact du trafic routier provoquant des sous-estimations des concentrations non directement liées à l'abaissement de la limitation de la vitesse (5).

L'implantation des murs anti-bruit à proximité des sites de mesures peut modifier la dispersion des polluants et ainsi modifier artificiellement l'impact des émissions routières.

III. 8. Comportements des usagers

Le type de conduite des usagers, apaisé ou agressif, est une variable aléatoire qui ne dépend qu'en partie de la baisse de la limitation de la vitesse. En effet, même si une vitesse plus basse contribue à apaiser la circulation, certains conducteurs adopteront une conduite agressive pour contrebalancer l'augmentation de leur temps de trajet occasionné par la limitation de vitesse. Or, ce mode de conduite entraîne une augmentation des émissions de COV et de NO_x respectivement de 15 à 400% et de 20 à 150 % et une hausse de la consommation en carburant de 12 à 40% (38).

La prise en compte du type de conduite des usagers (apaisé ou agressif) ne peut être intégrée que dans des modèles instantanés (ou unitaires) qui modélisent les conditions de circulations de chaque véhicule. Des variables comportementales peuvent être alors ajoutées pour s'approcher des conditions réelles de circulation et donc des émissions.

III. 9. Dispositif de régulation du trafic

La vitesse de circulation peut être régulée par des moyens coercitifs. Les plus courants sont les radars ou encore les aménagements urbains tels que les dos d'âne ou les chicanes (décrochements verticaux et horizontaux). En fonction de leurs effets sur le trafic, l'impact de ce type de dispositif est variable.

Le feu comportemental est un dispositif qui associe un radar à un feu tricolore. Le système utilise deux approches :

- Le feu est vert et passe au rouge lorsqu'une vitesse excessive est détectée.
- Le feu est rouge et passe au vert lorsque la vitesse est respectée.

Une étude ayant évalué ce système pour une limitation de vitesse à 70km/h par calcul montre une augmentation des émissions (39).

Un calcul des émissions a été réalisé afin d'évaluer l'impact d'un système embarqué (système réalisant une mesure de polluant directement à l'émission) permettant d'imposer une vitesse aux véhicules (38). L'étude n'évalue pas l'impact d'une diminution de la vitesse sur un réseau routier mais l'effet sur les émissions du respect de la vitesse limite autorisée. Ce système coercitif entraîne une diminution de la vitesse qui augmente les émissions polluantes mais qui est contrebalancé par une diminution des accélérations qui entraîne une baisse des émissions. Le bilan de la mesure est alors nul sur les émissions.

Lig'Air a estimé l'impact d'une chicane et d'un dos d'âne par calcul des émissions puis modélisation. L'étude utilise l'hypothèse que la circulation est plus fluide lors du franchissement de la chicane. Les émissions sont alors plus faibles mais restent supérieures à celles en l'absence d'aménagement (24).

Les dispositifs de régulation du trafic entraînent une augmentation des émissions. En revanche tous les dispositifs n'ont pas été évalués et des incertitudes demeurent.

III. 10. Synthèse : avantages et inconvénients des méthodes d'évaluation des émissions polluantes

Méthodes	Contraintes	Exemple de zone d'étude
Méthode agrégée	<ul style="list-style-type: none"> - Trafic homogène spatialement - Trafic homogène temporellement (impose un taux de congestion faible) - Allure des usagers stable - Longueur de la voie supérieure à 1km 	<ul style="list-style-type: none"> - Axe de transit dont la capacité n'est pas dépassée aux heures de pointes - Projet incluant plusieurs axes non congestionnés - Axes à grandes ou moyenne vitesse ?
Méthode semi-agrégée	<ul style="list-style-type: none"> - Trafic homogène spatialement - Trafic homogène ou hétérogène temporellement - Allure des usagers stable - Longueur de la voie supérieure à 1km 	<ul style="list-style-type: none"> - Axe congestionné ou non - Projet incluant plusieurs axes congestionnés ou non - Tout type de vitesse ?
Méthode microscopique	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de contrainte spatiale - Pas de contrainte temporelle - Pas de contraintes sur la longueur du tronçon - Pas de contraintes sur l'allure 	<ul style="list-style-type: none"> - Axe de faible dimension (inférieure au km) - Zone de dos d'âne, de chicane - Faible et moyennes vitesses
Modélisation de la dispersion	<ul style="list-style-type: none"> - Découle des contraintes des méthodes de calcul des émissions 	<ul style="list-style-type: none"> - Fonction de la méthode de calcul des émissions
Mesures intégratives (par tubes passifs)	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de contrainte spatiale - Pas de contrainte temporelle - Concentrations de fond 	<ul style="list-style-type: none"> - Zone rurale, périurbaine
Mesures en continu	<ul style="list-style-type: none"> - Trafic homogène spatialement (à moins de coût très important) - Besoin d'alimentation électrique - Pas de contraintes sur les concentrations de fond - Pas de contraintes sur la dispersion atmosphérique si la méthode analytique dispose d'une limite de détection suffisamment faible 	<ul style="list-style-type: none"> - Zone urbaine, restreinte à un seul axe - Faible vitesse ?
Couplage	<ul style="list-style-type: none"> - Trafic homogène spatialement - En fonction de la méthode de mesure in-situ le bruit de fond peut être un facteur important (en continu ou par mesures passives) - En fonction de la méthode de mesures in-situ une alimentation électrique peut être nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Zone urbaine ou rurale - Faible et moyenne vitesse ?

Tableau 13 : Contraintes des méthodes d'évaluation pour l'air

Méthodes	Longueur du tronçon	Hétérogénéité temporelle du trafic	Hétérogénéité spatiale du trafic	Allure	Bruit de fond	Projet routier complexe
Méthode agrégée	> 1km	☹	☹	☹	Sans objet	😊
Méthode semi-agrégée	> 1km	😊	☹	☹	Sans objet	😊
Méthode microscopique	Sans limite	😊	😊	😊	Sans objet	😊
Modélisation de la dispersion	En fonction de la méthode de calcul des émissions				😊 Si renseigné	😊
Mesures intégratives (par tubes passifs)	Petite dimension	😊	😊	😊	😊	😊
Mesures en continu		😊	😊	😊	😊	☹
Couplage		😊	☹	😊	Dépend de la méthode de mesure in-situ	

😊 : adapté, ☹ pas adapté, 😊 sous conditions

Tableau 14 : Tableau de synthèse des contraintes

IV. Facteurs de divergence des outils d'évaluation des émissions sonores

IV. 1. Le choix du modèle

Le choix du modèle représente l'une des premières sources d'écart entre les résultats obtenus. En effet, les modèles d'émissions sonores intègrent deux aspects :

- le calcul de source qui calcule une puissance acoustique par unité de longueur d'un tronçon en fonction des variables de circulation
- le calcul de propagation qui quantifie l'atténuation du son depuis la source jusqu'au récepteur. Le type de données d'entrées à fournir pour estimer la propagation diffère d'un modèle à un autre (distances de références, hauteur de la/les source(s), type de source, grandeurs fournies, regroupement de véhicules en catégories, revêtement de référence...). Une étude suisse a ainsi comparé des modèles d'émissions sonores en mettant en évidence les différences obtenues selon les paramètres (40), décrits dans le tableau 15.

Modèles	Pays	Distance	Hauteur	Catégories de véhicule
Harmonoise	Europe	-	-	Légers, intermédiaires, lourds, autres véhicules lourds, 2 roues
NMPB	France	7,5 m	1,2 m	Légers, lourds
RLS90	Allemagne	25 m	4 m	Légers, lourds
CoRTN	Royaume-Uni	10 m	0,5 m	Légers, lourds
stL-86+	Suisse	-	-	Légers, lourds
Empa97	Suisse	-	-	Légers, lourds
AsJ RTN	Japon	-	-	Légers, lourds
FHWA TNM	Etats-Unis	15 m	1,5 m	Légers, intermédiaires, lourds, autres véhicules lourds, 2 roues

Tableau 15 : Comparaison de modèles d'émissions (41)

Dans cette étude dont l'objectif est de comparer les valeurs modélisées à des mesures in-situ, les résultats obtenus varient selon les modèles. De plus, les valeurs calculées peuvent être différentes des données obtenues par mesures.

L'évaluation de l'impact des zones à limitation de vitesse sur les émissions sonores passe par une évaluation du modèle.

IV. 2. Diminution et report du trafic

Plus le volume de trafic est important, plus les émissions sonores sont grandes. Le CERTU estime qu'une division du trafic par deux engendre un abaissement du

niveau sonore de 3 dB(A), alors qu'une division par cinq entraîne une diminution de 7 db(A) (32).

Lors de la mise en place d'une zone de limitation de vitesse, un report du trafic vers les axes avoisinants peut être observé. L'impact de ce report du trafic a été mis en évidence par l'IBGE sur une zone 30 en Belgique (30). L'aménagement en zone 30 a entraîné une baisse du niveau de bruit global. Cette diminution est plus ou moins importante selon la réduction du flux de trafic.

Néanmoins, si une baisse des émissions sonores est observée dans la zone 30 par report du trafic, une augmentation est constatée sur les axes situés à proximité. Cette augmentation reste faible lorsque les axes supportant le report du trafic sont des voiries principales. En revanche, les émissions sonores deviennent beaucoup plus importantes lorsque les axes de report sont plus étroits et moins adaptés. La baisse du débit de trafic sur la zone ne suffit pas pour évaluer l'impact global d'une limitation de vitesse surtout si les émissions sonores sont déjà importantes sur les axes où le report s'effectue.

L'évaluation des effets sur les émissions sonores dépend également de la précision des données du trafic (utilisation de TMJA ou comptage lors des mesures du bruit). Néanmoins, une étude du SETRA montre que la sensibilité des niveaux sonores par rapport à l'approximation faite en considérant le TMJA au lieu de comptages est relativement faible (41). D'après la figure 1, une incertitude de 10% sur le trafic a peu de conséquences sur la quantification du niveau sonore, de l'ordre de 0,5 dB(A). Ainsi, une variation de 10% en différents endroits d'un axe permet de le considérer comme homogène au niveau des émissions sonores.

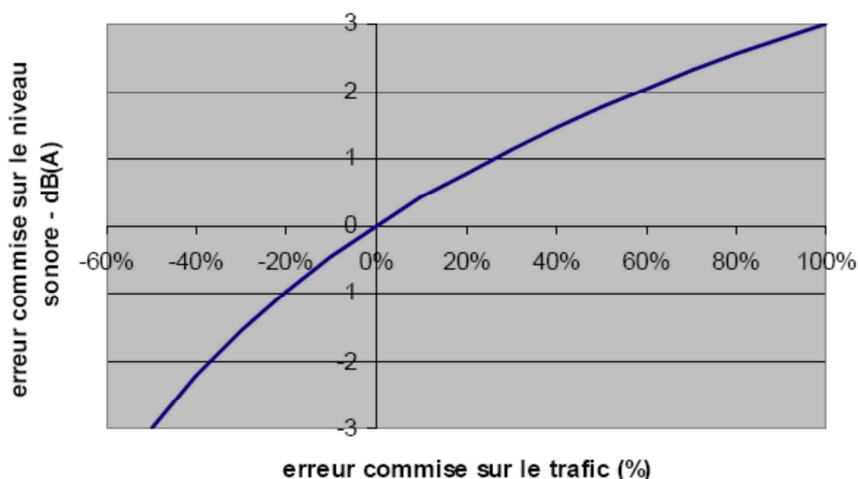


Figure 1 : Erreur commise sur le niveau sonore en fonction de l'erreur commise sur le trafic (41)

Des études du report du flux routier et de débits du trafic doivent être réalisées pour évaluer l'impact des limitations de vitesse. En zone urbaine, cette problématique est d'autant plus importante que les possibilités de contournement d'une zone à limitation de vitesses sont plus aisées pour les usagers que sur des axes de transit (voies rapides).

IV. 3. Impact des PL

Les études insistent sur la nécessité de renseigner la part de PL de façon la plus fine possible. En effet, la proportion de PL conditionne fortement les émissions sonores, d'autant plus que la vitesse est basse et la pente de la route élevée (32). Le SETRA estime également que sur route interurbaine, un PL émet autant que 4 à 10 VL, selon la vitesse et les conditions de circulation (41). Par ailleurs, l'effet de la proportion de PL sur le niveau sonore pour trois types d'axes a été évaluée (figure 2). Les vitesses des VL et des PL sont décrites dans le tableau 16 :

	Vitesse VL (km/h)	Vitesse PL (km/h)
Autoroute	130	90
Route	90	80
Axe urbain	50	50

Tableau 16 : Vitesses des VL et de PL selon le type d'axes

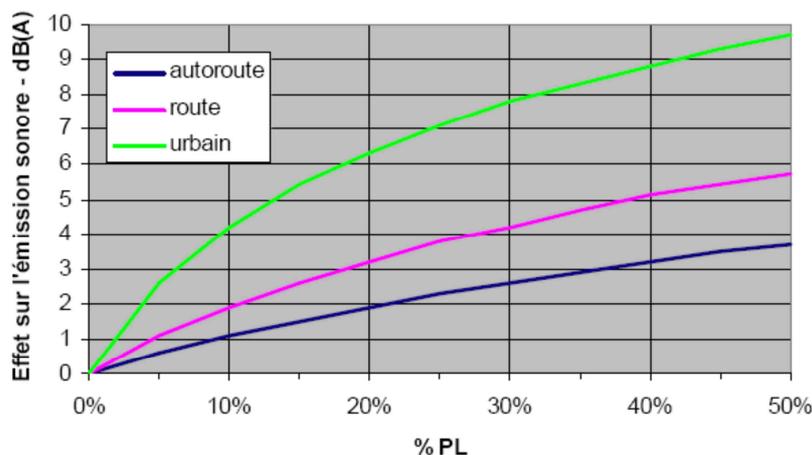


Figure 2 : Influence de la proportion de PL sur les émissions sonores (41)

Les émissions sonores augmentent avec la proportion de PL pour les trois types d'axes (figure 2). Cependant, l'augmentation est plus importante sur un axe urbain que sur une route ou une autoroute. Pour une part de PL de 20%, l'impact sonore est d'environ 6,3 dB(A) sur un axe urbain, de 3 dB(A) sur une route et de 2 dB(A) sur une autoroute.

Pour représenter la composition du trafic dans les modèles, la majorité des études relatives au bruit renseigne sur ce paramètre par comptage de trafic. Néanmoins, ces données sont parfois estimées de la façon suivante :

- Le pourcentage de PL dans le TMJA est estimé par analogie sur des axes routiers mieux renseignés.
- Les périodes 6h-18h, 18h-22h et 22h-6h sont renseignées par des formules d'estimations à partir du TMJA et du pourcentage de PL sur 24h.

Une estimation de ces données entraîne des incertitudes des modèles sur la part des PL. Le nombre de catégories de poids lourds renseigné par les modèles a

également un impact sur les résultats obtenus. Une étude suisse comparant des valeurs fournies par différents modèles à des mesures in-situ a observé que ceux n'utilisant que deux catégories surestiment la part d'émission des véhicules lourds (40). Ces modèles ne renseignent que les pourcentages de PL qui représentent uniquement les véhicules les plus lourds sans apporter de précision sur des catégories de véhicules intermédiaires (petits PL). Cette information complémentaire permettrait de mieux appréhender les émissions sonores sur les axes de circulation spécifique où le pourcentage de très gros PL est faible.

Le choix de la proportion VL/PL ainsi que le nombre de catégories renseigné influent sur la variabilité des niveaux de bruit observés. La quantification des proportions de PL en fonction des différentes tranches horaires doit impérativement être renseignée.

IV. 4. Vitesse de circulation

L'émission sonore liée au trafic est plus sensible aux variations de vitesse de circulation qu'à celles du débit (32).

Tout comme pour les études relatives à la qualité de l'air et le climat, le calcul des émissions sonores peut être approché à partir des vitesses maximales autorisées, des vitesses moyennes constantes ou variables selon des profils horaires ou journaliers. L'utilisation des vitesses maximales autorisées permet de dégager des tendances, mais ne met pas en évidence l'impact des vitesses réelles de circulation, notamment les dépassements possibles de la limitation de vitesse (30).

Dans le guide du bruit des transports terrestres (28), l'Institut de Recherche des Transports a établi des abaques représentant les niveaux d'émission sonore en fonction de la vitesse du véhicule et pour diverses circulations routières (résultats établis à partir d'un grand nombre de mesures sur site).

D'après l'abaque décrit sur la figure 3, l'impact sur les émissions sonores est différent selon la vitesse de circulation. Ainsi pour un véhicule léger en circulation pulsée (accélération/décélération fréquente), on observe le comportement suivant :

- Entre 45 et 20 km/h, la diminution de la vitesse provoque une augmentation des émissions sonores. Dans ce régime de vitesses, le bruit du moteur représente la principale source d'émission sonore.
- Entre 130 et 50 km/h, les émissions sonores diminuent avec la vitesse. Dans ce régime de vitesses, le contact entre les pneus et la chaussée devient la principale source de bruit.

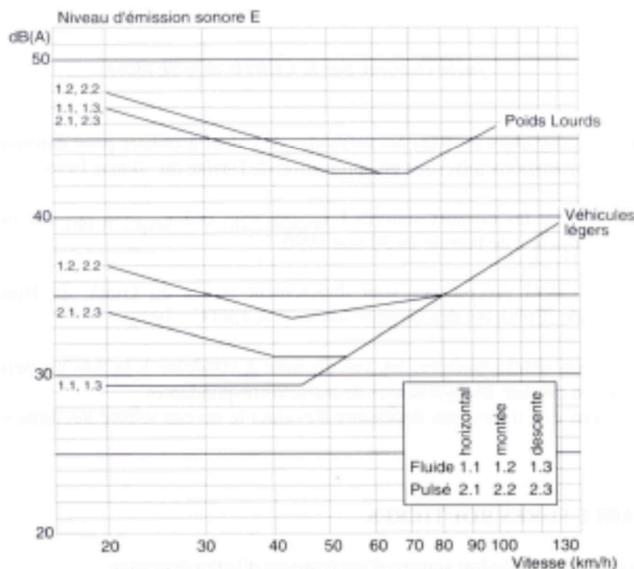


Figure 3 : Niveau d'émission sonore en fonction de la vitesse du véhicule (CETUR (28))

Le choix de la vitesse dépend du niveau de précision acoustique voulu. Une vitesse moyenne constante est suffisante pour estimer une tendance sur les émissions, alors qu'une vitesse selon des profils horaires permet une évaluation plus proche de la réalité.

IV. 5. Conditions de circulation

Une circulation pulsée entraîne des émissions sonores plus fortes qu'une circulation fluide en zone urbaine : le CERTU estime des différences de 2 à 3 dB(A) entre ces deux types de circulation, pour des vitesses inférieures à 50 km/h (32).

D'après les abaques d'émission sonore (figure 3), l'impact d'une limitation de vitesse est différent selon la fluidité de la circulation sur une route horizontale ou en pente :

- Pour un VL et une vitesse inférieure à 45 km/h, une circulation fluide n'entraîne ni une augmentation ni une diminution du niveau sonore lorsque la vitesse diminue. Pour une vitesse supérieure à 45 km/h, les émissions sonores diminuent avec la vitesse.
- Pour un VL, en dessous de 40 km/h, une circulation pulsée entraîne une augmentation du niveau sonore lorsque la vitesse diminue. Au-delà de 50 km/h, la tendance observée avec une circulation pulsée est la même que celle avec une circulation fluide : les émissions sonores diminuent avec la vitesse.

En revanche, dans le cas d'une montée, aucune différence n'est observée entre des circulations fluide et pulsée. Les émissions diminuent avec la vitesse au-delà de 42-43 km/h, mais augmentent lorsque la vitesse diminue pour des vitesses de circulation inférieures à cette valeur.

Lors d'une évaluation d'impact des limitations de vitesse, la connaissance du débit de trafic ne suffit pas, car elle ne permet pas de prendre en compte les phénomènes de congestion. Une étude de la dynamique du trafic dans la zone permet une évaluation plus fine de l'impact des limitations de vitesse.

IV. 6. Dispositifs de réduction de la vitesse

Les dispositifs de réduction de la vitesse et les aménagements peuvent être mis en œuvre dans les zones de limitation de vitesse, notamment en zones urbaines. Ils provoquent des freinages et des accélérations, entraînant par conséquent des changements du niveau sonore.

Selon le type d'aménagement, ces émissions sonores sont différentes. Les impacts sonores globaux de différents types d'aménagements de voirie ont été évalués par calcul dans un rapport de l'IBGE (34). Ces impacts sont ressentis dans la zone d'influence qui s'étend en amont et en aval de l'aménagement. Pour ces aménagements, les variations globales ΔL (tableau 17) sont obtenues à partir de la diminution de vitesse $\Delta V = V_{85} - VMI$:

- V_{85} correspond à la vitesse en-dessous de laquelle roulent 85% des usagers lorsqu'ils sont hors de la zone d'influence du dispositif.
- VMI est la vitesse moyenne dans la zone d'influence amont et aval donnée

Les calculs ont été faits avec de nombreuses hypothèses, notamment sur les valeurs des vitesses réelles. L'efficacité en termes de réduction du bruit global ΔL pour quelques types d'aménagement peut alors être estimée par les formules suivantes :

- Si $V_{85} < 44$ km/h $\Delta L = 0$ dB(A)
- Si $V_{85} > 44$ km/h $\Delta L = 0,136 \times \Delta V$ dB(A)

Le tableau 17 indique ces variations pour une vitesse d'approche $V_{85} = 50$ km/h.

	Variation acoustique global (dB(A))	Type de décrochements
Ralentisseur	-3,4	Vertical
Plateau	-2,4	Vertical
Coussin	-2,4	Vertical
Rétrécissement	-1,4	Horizontal
Dévoisement	-1,4	Horizontal

Tableau 17 : Impact d'aménagements sur les émissions sonores (IBGE (34))

Les calculs d'impact estimés de façon globale sur la zone d'étude aboutissent sur une réduction des émissions sonores dans la totalité des aménagements étudiés. En revanche, en ce qui concerne l'impact local correspondant aux émissions sonores à proximité immédiate de l'aménagement, les études réalisées par le Centre d'Etude et de Développement en Ingénierie Acoustique (CEDIA), le « Transport Research Laboratory » (TRL), le Centre de Recherches Routières (CRR) et le CERTU ne concluent pas toujours à une réduction des émissions. Parmi ces études, une légère augmentation du bruit de l'ordre de 0,5 à 1,5 a été constatée par le CRR lors du franchissement d'un ralentisseur.

Les dispositifs et aménagements mis en œuvre ne sont pas les mêmes entre les zones de limitation de vitesse, pouvant ainsi justifier en partie la variabilité des niveaux sonores entre les études, quelque soit l'outil d'évaluation utilisé.

IV. 7. Niveau de bruit résiduel

Le niveau de bruit résiduel correspond au niveau sonore en l'absence du bruit particulier, en l'occurrence le bruit routier dans le cadre de l'évaluation de l'impact des limitations de vitesse. Le fond sonore est composé des bruits émis par toutes les sources proches ou éloignées durant la période de mesure. Dans le cas de l'évaluation de l'impact du trafic routier, le niveau de bruit ambiant correspond à la somme du niveau du bruit du trafic et du niveau de bruit résiduel.

Lors d'une évaluation du bruit ambiant par des mesures in-situ, la quantification du niveau de bruit résiduel est nécessaire et imposée par la norme NF S 31-085 « Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier ». De ce fait, la détermination du niveau de bruit résiduel permet d'observer les variations à différentes périodes ainsi que les autres activités sonores dans l'environnement, lorsque plusieurs campagnes de mesures sont réalisées (27). Les variations du niveau de bruit ambiant peuvent alors provenir des fluctuations du niveau de bruit résiduel et non du trafic routier.

Dans le cas des évaluations par métrologie, les variations des niveaux du bruit résiduel doivent être prises en compte.

IV. 8. Revêtement de la chaussée

L'influence du revêtement de la chaussée sur les émissions sonores du trafic routier est présentée en figure 4. Les émissions sonores provenant du contact pneu-chaussée augmentent avec la vitesse. Cette influence est importante sur les voies rapides, car le bruit dû au contact pneu/chaussée devient dominant pour des vitesses supérieures à 60 km/h. Dans le cas des voies urbaines, le revêtement de la chaussée n'est pas le facteur majoritaire dans les émissions sonores, car en dessous de 60 km/h, le bruit du moteur représente l'origine principale du bruit routier.

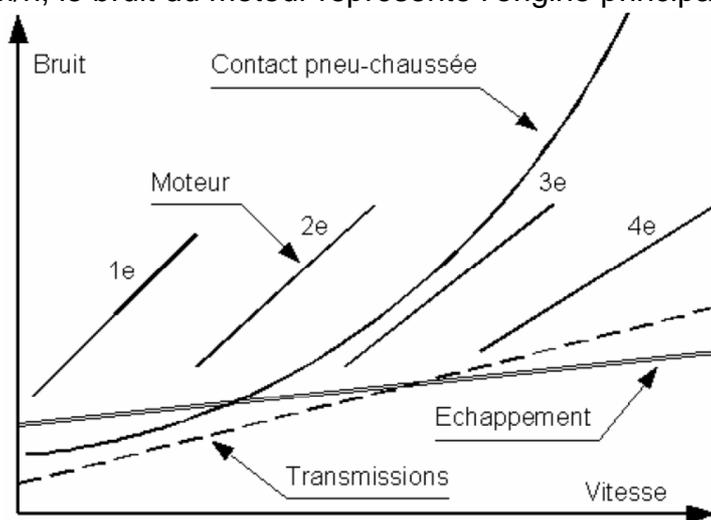


Figure 4 : Influence du revêtement de la chaussée sur les émissions sonores (Cftr (42))

Selon la nature du revêtement, une réduction du bruit peut être constatée. Elle peut varier, de 3 à 5 dB(A) entre un revêtement traditionnel en bon état et un revêtement optimisé vis-à-vis du bruit (42). Ces revêtements optimisés ou « acoustiques » ne sont efficaces que sur les axes dont les vitesses sont supérieures à 50 km/h (32). D'après la base de données du LRCP de Strasbourg répertoriant les mesures effectuées par des laboratoires selon différentes méthodologies (43), les performances obtenues pour différents revêtements sont indiquées sur la figure 5 :

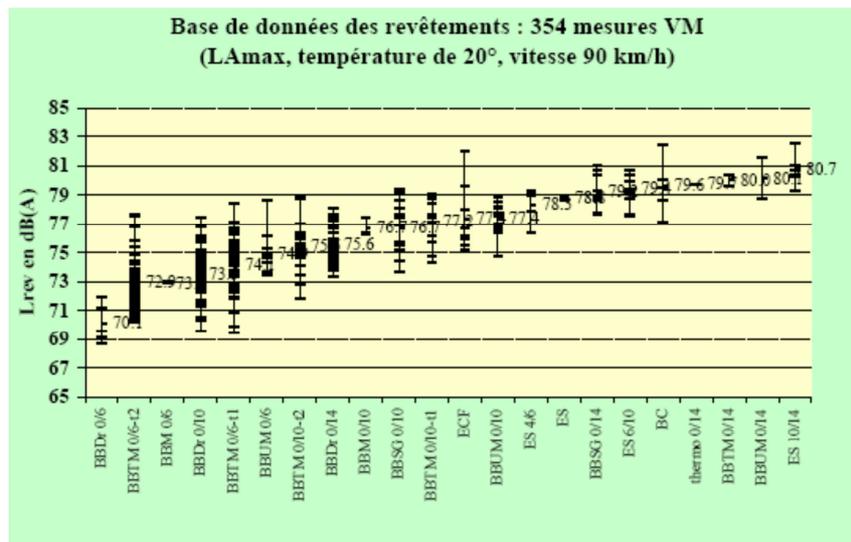


Figure 5 : Performances des revêtements (LRPC Strasbourg (43))

Le graphique présente les revêtements en fonction de leur granulométrie, ce qui permet de constater que le niveau sonore est d'autant plus élevé que la granulométrie du revêtement est forte. Il dépend également de la porosité, c'est-à-dire la présence de cavités ou de pores : plus la porosité est grande, plus l'absorption de l'énergie sonore par le revêtement est forte.

De plus, l'âge du revêtement et l'usure par le trafic interviennent sur l'efficacité acoustique (43). L'impact de ces deux facteurs sur les émissions sonores diffère en fonction de la nature du revêtement.

Lors de l'évaluation des impacts des limitations de vitesse, la nature du revêtement de chaussée doit être identifiée, notamment sur les axes rapides. De plus, des renseignements sur l'âge du revêtement et le débit du trafic permettraient une évaluation de l'efficacité sur la réduction du bruit.

IV. 9. Comportement des usagers

Le comportement du conducteur est une variable aléatoire qui ne dépend pas que de la limitation de vitesse. D'autres paramètres tels que l'aménagement et les dispositifs de réduction de la vitesse peuvent influencer sur le comportement. L'IBGE caractérise le mode de conduite par (31) :

- La vitesse de conduite, qui peut être imposée par la limitation de vitesse.
- Le style de conduite.

En ce qui concerne la vitesse de conduite, les limitations de vitesse ne sont pas toujours respectées par les conducteurs (27) (30). Cependant, plus la limitation de vitesse est basse, plus elle incite les conducteurs à réduire leur vitesse. Ceci a été observé dans une étude d'Orfea Acoustique, qui a réalisé deux campagnes de mesure sur une route départementale :

- La première en août 2010, avec une limitation de vitesse de 90 km/h.
- La deuxième en décembre 2010, dont la limitation a été réduite à 70 km/h.

Un usager peut adopter un comportement calme ou agressif. Un comportement agressif peut totalement annihiler l'effet réducteur du bruit de certains aménagements tels qu'un ralentisseur ou un plateau (31). Avec un mode de conduite plus calme dans une zone 30 (en troisième vitesse plutôt qu'en deuxième, sans toujours ralentir et accélérer), une réduction des émissions sonores liées au trafic de 2 dB(A) est observée par rapport à un autre quartier dans lequel la vitesse moyenne est de 30 km/h environ mais avec une vitesse limite de 50 km/h (44).

Le style de conduite des usagers est un paramètre qu'il faut intégrer pour mieux caractériser les conditions réelles de circulation et donc des émissions sonores.

IV. 10. Pente de la voie

On considère qu'un tronçon d'infrastructure est en rampe (ou en déclivité) lorsque la pente du profil en long est strictement supérieure à 2%. L'effet de la déclivité est acoustiquement assez difficile à appréhender dans le sens où il modifie à la fois l'émission des véhicules (régime moteur) et leur vitesse (45) :

- A vitesse égale, un véhicule est plus bruyant en montée que sur une route horizontale, du fait du régime moteur.
- La vitesse moyenne diminue en montée. En descente, la vitesse moyenne des VL sera considérée comme identique à celle sur une route en palier.

L'effet de la rampe n'est pas pris en compte pour des vitesses supérieures à 80 km/h et est parfaitement négligeable pour des vitesses de l'ordre de 70 km/h. La rampe est prise en compte dans l'évaluation de l'émission acoustique du trafic dans deux circonstances :

- en milieu urbain dense (vitesses inférieures ou égales à 50 km/h),
- en milieu interurbain (lorsque la rampe réduit suffisamment les vitesses pour qu'elles descendent en deçà de 70 km/h).

En milieu urbain dense, l'influence de la rampe est de l'ordre de 2 à 5 dB(A). De plus, l'effet d'une rampe est moins important sur une voie à double sens que sur une voie à sens unique montant dans la mesure où il n'affecte que le trafic montant (45). En effet, les véhicules montants sont plus bruyants que sur une route horizontale alors que les véhicules descendants émettent sensiblement le même bruit que sur une route horizontale (exception faite toutefois des PL pour lesquels le freinage en descente peut être pénalisant).

La pente de la voie est un paramètre pouvant avoir un impact important sur les émissions sonores, notamment en milieux urbain et interurbain.

Conclusion

Il apparaît à travers les études exploitées que l'impact d'une limitation de vitesse sur la qualité de l'air, les émissions de gaz à effet de serre et le bruit est essentiellement fonction de la voie considérée :

- Sur les voies rapides de type route/autoroute, la majorité des études montre que la limitation de vitesse entraîne une diminution des émissions ou des concentrations de polluants, ainsi qu'une réduction généralement faible des émissions sonores. En ce qui concerne l'impact sur les émissions de gaz à effet de serre, les résultats restent cependant très dispersés et fortement dépendant des spécificités des axes, des zones étudiées, du comportement des conducteurs et des outils d'évaluation utilisés. Ainsi, la variation des émissions avant et après mise en place d'une même limitation de vitesse peut varier de -30% à +5%. Pour le bruit, en revanche, l'abattement sonore ne semble pas significatif (quelques dB(A) seulement).
- Sur les voies urbaines, contrairement aux axes rapides, il n'y a pas ou peu d'effets observés de la limitation de vitesse sur les émissions ou les concentrations de polluants. Des variations importantes sont constatées en fonction des scénarios choisis ou des typologies de zone (de -45 à +96,8% pour les émissions), aucune tendance ne se dégage nettement mais le nombre d'étude disponible est aussi très restreint. D'autre part, la limitation de vitesse ne conduit pas toujours à une baisse du niveau de bruit. Pour des faibles vitesses de circulation, différents éléments peuvent apparaître comme générateurs du bruit routier : aménagement, revêtements de chaussées, débit élevé et nature du trafic....

Outre ces éléments relevés dans la littérature étudiée, la mise en place en zone urbaine de limitation de vitesse en-deçà de 50 km/h ne semble pas permettre de moduler l'impact de certaines typologies de zone. En effet, même si cela n'apparaît pas clairement dans les études exploitées, il apparaît que l'impact est déjà conditionné par la fonction intrinsèque des zones. Deux exemples peuvent illustrer ce constat :

- Pour les axes commerçants où le trafic est déjà régulé par des arrêts fréquents, la limitation de vitesse ne permettra pas de modifier le comportement des usagers.
- Pour les rues à proximité d'une école, l'établissement contraint la circulation de façon plus importante qu'une limitation de vitesse et impose ainsi sa propre autorégulation du trafic.

Dans l'étude d'impact d'une limitation de vitesse, il est alors essentiel de prendre en compte l'activité au sein de la zone étudiée, d'autant plus si l'objectif est de desservir un établissement ou une activité.

Au final, il s'avère que de nombreux facteurs extérieurs à la limitation de vitesse influent sur la réalité des émissions et des concentrations atmosphériques ou sur les moyens d'évaluation mis en œuvre, le tout entraînant une grande variation des résultats. Ces mêmes conclusions peuvent être formulées pour le bruit.

RECOMMANDATIONS POUR EVALUER L'IMPACT SUR LA QUALITE DE L'AIR ET LES EMISSIONS DE GES

IV. 11. Axes routiers à grande vitesse de circulation

Sur les axes routiers à grande vitesse (vitesse maximale supérieure ou égale à 70 km/h), l'un des plus forts déterminants des émissions automobiles est **la congestion**. Le phénomène de congestion entraîne une baisse de la vitesse de circulation et contribue à une surémission de polluants.

Une étude préalable du trafic sur l'axe doit être réalisée pour observer l'existence ou non de congestion récurrente.

Si l'axe est peu ou pas congestionné, l'impact de la limitation des vitesses dépendra des paramètres caractéristiques du trafic : vitesse de circulation, débit, proportion de poids lourds. L'utilisation d'un modèle agrégé bien documenté est largement suffisante pour évaluer les impacts en termes d'émission de la limitation de vitesse sur ces axes.

Si l'axe est congestionné, plusieurs paramètres sont déterminants : hétérogénéité temporelle du trafic (vitesse, débit, proportion de Poids Lourds), comportement des usagers. Les méthodes d'évaluation utilisées doivent retranscrire les conditions de congestion du trafic sur l'axe. Les trois types de modèles peuvent être utilisés (agrégé, semi-agrégé et microscopique), même si l'approche microscopique semble la mieux adaptée malgré la difficulté de sa mise en place en raison des coûts.

IV. 12. Zones ou axes routiers à faible vitesse

Les axes à vitesses faibles (inférieures ou égales à 50 km/h) concernent les zones urbaines ce qui implique des trafics et des configurations pouvant être très spécifiques. L'impact pour les vitesses faibles dans ce type de zone est fortement contraint par la **fonctionnalité de la voie**, les **moyens coercitifs** utilisés pour faire respecter la limitation de vitesse, les **modifications d'itinéraire** par les usagers dues aux changements des conditions de circulation et **l'allure des usagers** qui peut être apaisée ou agressive et entraîner des baisses ou des hausses des émissions par rapport à un comportement classique. Ces modifications d'allure seront prépondérantes si la zone y est propice.

Ces paramètres influencent principalement la vitesse et le trafic qui doivent donc être bien définis pour permettre l'évaluation de l'impact de la limitation de la vitesse. Dans le cas de la réalisation d'une estimation a posteriori, des relevés in situ sont nécessaires pour alimenter les méthodes d'évaluations envisagées. En revanche dans le cas d'une modélisation a priori, il est obligatoire de passer soit par des hypothèses de circulation soit par une modélisation du trafic pour approcher l'état futur.

Des études complémentaires peuvent améliorer les approches macroscopiques, notamment sur les hypothèses d'agrégation spatiale et temporelle de la vitesse.

Concernant les études microscopiques, des études portant sur les styles de conduite (agressif, apaisé) peuvent être réalisées et comparées aux approches macroscopiques afin de contrôler dans quelles mesures ces méthodes coïncident. Si elles vont dans le même sens, la méthode macroscopique étant plus simple à mettre en œuvre elle serait privilégiée.

L'utilisation de la modélisation des concentrations est un outil complémentaire permettant d'intégrer des paramètres qui sortent du champ des méthodes de calcul des émissions. Le bâti et les conditions météorologiques spécifiques à la zone peuvent alors être paramétrés. Ces facteurs qui n'influencent pas les émissions peuvent toutefois modifier significativement l'impact sur la zone d'étude (à l'exception du CO₂).

IV. 13. Vigilances

Sur les axes rapides (limitation supérieure ou égale à 50 km/h), deux sous-typologies de zones peuvent être définies selon la congestion observée :

- Les axes rapides non ou peu congestionnés pour lesquels la méthode par calcul des émissions présente l'avantage de s'affranchir de certaines contraintes contextuelles (conditions météorologiques, bruit de fond). Parmi les modèles d'émission, l'utilisation d'un modèle agrégé est suffisante, puisque l'évaluation ne nécessite pas une connaissance spatiale et temporelle fine. Cependant, le choix de la méthode d'évaluation (calcul des émissions, utilisation d'un modèle de dispersion, mesures in situ ou un couplage de ces trois outils d'évaluation) dépend des attentes de l'étude.
- Les axes subissant une congestion fréquente. Pour ces axes situés généralement en milieu urbain, les fluctuations du bruit de fond peuvent être plus importantes que celles dues aux effets de la limitation. Une connaissance fine de ce paramètre est alors indispensable lorsque l'évaluation se fait par mesures in situ, représentant une contrainte plus forte que sur les axes non congestionnés. Concernant les modèles d'émission, les trois types de modèles (agrégé, semi-agrégé et microscopique) peuvent intégrer la congestion.

La problématique du bruit de fond reste prépondérante sur les axes à vitesse faible (limitation inférieure à 50 km/h). Sur ces voies, le choix du modèle dépend de l'homogénéité du trafic : l'approche macroscopique suffit si le trafic est homogène, en revanche les modèles microscopiques sont plus adaptés pour un trafic hétérogène. Quant aux mesures in situ, la difficulté majeure de l'évaluation provient des hétérogénéités spatiale et temporelle qui découlent des paramètres de trafic.

Les axes à faible vitesse représentent le type de zones dont le manque de connaissance en termes d'impact et de méthodes d'évaluation est le plus important. Concernant les modèles, les études doivent porter sur la cohérence des facteurs d'émissions disponibles lorsqu'une approche microscopique est utilisée, et les hypothèses d'agrégation spatiale et temporelle utilisées par les modèles macroscopiques.

Ces études peuvent être complétées par des systèmes de mesures embarquées (analyse des polluants directement à l'émission), ou bien être accompagnées d'outils de caractérisation in situ du parc roulant, tels que « NodBox » ou « RSD ».

	Avantages	Inconvénients
Modélisation (cas général)	<ul style="list-style-type: none"> - Caractérise l'ensemble du réseau - Possibilité de faire varier les scénarios - Traitement de plusieurs axes en simultanée - Prévion possible - Intègre la consommation de carburant - Intègre les émissions de CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> - Limite d'utilisation et incertitudes sur les facteurs d'émissions - Difficultés pour renseigner les paramètres de trafic (vitesse, débit, parc automobile, allure...) - En fonction des données disponibles de nombreuses hypothèses sont à formuler (PL, parc automobile...) - Liberté de l'utilisateur pour le paramétrage des modèles ce qui peut entraîner pour une même zone d'étude des variations en fonction des hypothèses retenues - Dans le cas de prévision, les calculs d'émission sont basés sur des hypothèses de trafic
Méthode agrégée	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation simple - Utilisable pour des situations de trafic homogène (peu de congestion) 	<ul style="list-style-type: none"> - Incertitude importante dans des situations de trafic congestionné - Pas adapté pour les projets de petites dimensions - Pas adapté pour des situations spécifiques (utilisation de moyens coercitifs) - Ne prends pas en compte l'allure des usagers (agressive ou apaisée)
Méthode semi-agrégée	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisable pour des situations de trafic homogène et hétérogène - Prise en compte de différents modes de trafic (« stop and go »...) 	<ul style="list-style-type: none"> - La caractérisation de la typologie de la voie peut ne pas être évidente et entraîner l'utilisation de facteurs d'émission non adaptés - Difficulté pour renseigner les différents modes de trafic (« stop and go »...) - Ne prends pas en compte l'allure des usagers (agressive ou apaisée)
Méthode microscopique	<ul style="list-style-type: none"> - Bien adaptée pour des situations de trafic hétérogène - Bien adaptée pour des projets de petite dimension - Bien adaptée pour évaluer des moyens coercitifs qui entraînent de fortes variations de vitesse et d'accélération (dos d'âne, feux rouge) - Peu intégrer l'allure des usagers (agressive ou apaisée) 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation complexe - Peu de facteurs d'émission disponibles - Trafic modélisé par méthodes microscopiques qui utilisent des lois comportementales approchant la réalité
Modélisation de la dispersion	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison possible à la réglementation et aux données sanitaires - Seul outil pour évaluer les effets sur l'ozone 	<ul style="list-style-type: none"> - Obligation de caractériser les concentrations de fond par des mesures in-situ ou par des modèles régionaux basés sur des cadastres d'émission - Incertitudes importantes cumulées à celles des calculs des émissions
Mesures in-situ (cas général)	<ul style="list-style-type: none"> - Approche intégrative qui prend en compte l'ensemble des données de trafic (vitesse, débit, parc allure...) - Evaluation immédiate de l'impact de la route - Evaluation immédiate pour une comparaison à la réglementation si les campagnes de mesures sont suffisamment représentatives temporellement - Evaluation possible de cas spécifiques d'aménagement (moyens coercitifs) 	<ul style="list-style-type: none"> - Résultats soumis à de fortes variabilités à cause de phénomènes extérieurs au trafic (météo, concentrations de fond...) - Ne peut mesurer que l'existant sans donner la possibilité de faire des projections - Impossibilité d'évaluer certains composés (CO₂) - Nécessite de longue période d'évaluation pour obtenir une bonne représentativité des résultats - Impose de doubler les campagnes de mesures (avant/après la mise en place de la limitation de la vitesse) - Analyse axe par axe, problématique pour des projets très importants entraînant des coûts supplémentaires
Mesures intégratives (par tubes passifs)	<ul style="list-style-type: none"> - Installation aisée - Coût faible - Bonne représentativité spatiale en multipliant le nombre de capteur - Evaluation des concentrations de fond possible - Méthode adaptée dans des situations de trafic homogène - Méthode adaptée pour des sites où les concentrations de fond sont faibles (site rural) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fortes incertitudes météorologiques - Sensible aux variations des concentrations de fond - Très sensible aux variations météorologiques
Mesures en continu	<ul style="list-style-type: none"> - Bonne description temporelle des concentrations - Evaluation des concentrations de fond possible - Méthode adaptée dans des situations de trafic hétérogène et homogène 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible représentativité spatiale - Installation complexe - Coût élevé
Couplage mesure in-situ et modélisation	<ul style="list-style-type: none"> - Permet d'intégrer les conditions de dispersion différentes entre les mesures avant et après mise en place de la limitation de vitesse 	<ul style="list-style-type: none"> - Incertitudes importantes - Evaluation très longue (6 mois à 1 an)

Tableau 18 : Avantages / inconvénients des méthodes d'évaluation des impacts sur la qualité de l'air et les gaz à effet de serre

TRAVAUX CITES

1. **ADEME, CERTU** -. *CERTU - ADEME, Agir contre l'effet de serre, la pollution de l'air et le bruit dans les plans de déplacements urbains – Approches et méthodes*, Juin 2008.
2. *Estimation des impacts atmosphériques des projets de gestion de trafic : de l'application des modèles théoriques sur des cas concrets* *Rech. Transp. Secur.*, 28,1-14. **CHANUT S., CHEVALLIER E.** 28, 2012.
3. *Air quality impacts of speed-restriction zones for road traffic*, *Science of the Total Environment* 340, 13– 22. **B., OWEN.** 2005.
4. *Reduced NOx and PM10 emissions on urban motorways in The Netherlands by 80 km/h speed management*, *Science of the Total Environment* 408, 2517–2526. **KEUKEN M.P., JONKERS S., WILMINK I.R., WESSELING J.** 2010.
5. *Air quality effects of an urban highway speed limit reduction*, *Atmospheric Environment* 42, 9098–9105. **DIKEMA M.B.A., VAN DER ZEE S.C., BRUNEKREEF B., VAN STRIEN R.T.** 2008.
6. **Lig'Air.** *Plan de Protection de l'Atmosphère Orléans Concentration et émissions en zones 30*. s.l. : Automne 2006.
7. **Lig'air.** *PPA Tours : concentrations et émissions en zone 30*. 2007.
8. **ORAMIP.** *Plan de Protection de l'Atmosphère Bilan de la qualité de l'air - Mesure B1 Réduction de vitesse sur le périphérique toulousain été 2006 - Synthèse*, Octobre 2006.
9. **LIG'AIR.** *Impact des mesures d'urgence sur la qualité de l'air en cas de pic de pollution – Application à l'agglomération tourangelle*, Novembre 2007.
10. **Méditerranée, CETE.** *Impacts de la réduction permanente de la vitesse sur l'A9*, 2009.
11. **PLAN DE DEPLACEMENTS URBAINS DU GRAND NANCY**, *Evaluation et mise en œuvre*.
12. *PM, NOx and CO2 emission reductions from speed management policies in Europe*, *Transport Policy* 18, 32–37. **INT PANIS L., BECKX C., BROEKX S., DE VLIAGER I., SCHROOTEN L., DEGRAEUWE B., PELKMANS L.** 2011.
13. *Air quality models sensitivity to on-road traffic speed representation: Effects on air quality of 80 km.h-1 speed limit in the Barcelona Metropolitan area*, *Atmospheric Environment* 42, 8389–8402. **GONCALVES M., JIMENEZ-GUERRERO P., LOPEZ E., BALDASANO J.M.** 2008.
14. *The impact of reducing the maximum speed limit on motorways in Switzerland to 80 km h-1 on emissions and peak ozone*, *Environmental Modelling & Software*, 23, 322-332. **KELLER J., ANDREANI-AKSOYOGLU S., TINGUELY M., FLEMMING J., HELDSTAB J., KELLER M., ZBINDEN R., PREVOT A.S.H.** 2008.
15. *Reducing speed limits on highways: Dutch experiences and impact on air pollution, noise-level, traffic safety and traffic flow*, *Association for European Transport and contributors*. **OLDE KALTER M.J.T., VAN BEEK P., STEMERDING M.P.** 2005.

16. *Modeling the effects of a speed limit reduction on traffic-related elemental carbon (EC) concentrations and population exposure to EC, Atmospheric Environment 45, 197-207. LEFEBVRE W., FIERENS F., TRIMPENEERS E., JANSSEN S., VAN DE VEL K., DEUTSCH F., VIAENE P., VANKERKOM J., DUMONT G., VANPOUCKE C., MENSINK C., PEELAERTS W., VLIEGEN J. 2011.*
17. *Air pollution impacts of speed limitation measures in large cities: The need for improving traffic data in a metropolitan area, Atmospheric Environment, 44, 2997-3006. BALDASANO J.M., GONCALVES M., SORET A., JIMENEZ-GUERRERO P. 2010.*
18. **ASPA.** *Impact de la réduction de vitesse sur la qualité de l'air en proximité des autoroutes strasbourgeoises, Septembre 2010.*
19. **LANGUEDOC-ROUSSILLON, AIR.** *Réduction de vitesse et qualité de l'air - Etude relative à l'autoroute A9 au droit de Montpellier, Janvier 2012.*
20. **AtmoPaca.** *Impact de la réduction de vitesse sur la pollution par l'ozone. 2010.*
21. *Assessment of the impact of speed limit reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach, Transportation Research Part D 16, 504–508. MADIREDDY M., DE COENSEL B., CAN A., DEGRAEUWE B., BEUSEN B., DE VLIAGER I., BOTTELDOOREN D. 2011.*
22. **T&E.** *Lower urban speed limits Better for citizens, better for the environment, better for all. s.l. : T&E, 2001.*
23. **Luc Int Panis, Carolien Beckx, Steven Broekx.** *Impact of 30 km/h zone introduction on vehicle exhaust emissions in urban areas.*
24. **Lig'air.** *Zones 30 Simulation de l'impact des aménagements urbains sur la qualité de l'air. Novembre 2008.*
25. **Chevallier, Estelle.** *Approche microscopique pour l'estimation des nuisances environnementales de politiques de gestion du trafic. 2005.*
26. **ADEME.** *Guide pour l'élaboration des plans de prélèvement du bruit dans l'environnement.*
27. **Acoustique, Orfea.** *Constat sonore après la mise en service de la déviation ouest de Sarlat La Caneda par la RD 704, 2011.*
28. **CETUR.** *Guide du bruit des transports terrestres.*
29. **CERTU.** *Fiche 3 : Impact acoustique des aménagements de voirie en milieu urbain - Zones 30 - 2008.*
30. **IBGE.** *Les zones à statut spécifique et leur influence sur le bruit routier.*
31. —. *Le Bruit à Bruxelles, 1998.*
32. **CERTU.** *Comprendre les nuisances sonores routières pour les prendre en compte dans un projet d'aménagement de voirie - Juin 2008.*
33. *Predicted effects of a speed bump on light vehicle noise, Applied Acoustics 67 (2006) 570–579. Piotr Kokowski, Rufin Makarewicz.*
34. **IBGE.** *Les aménagements locaux de voirie et leur influence sur le bruit routier .*
35. **CERTU.** *Fiche 4 - Aout 2010 "modérer la vitesse des véhicules en ville, pourquoi ?*

36. **DURET, Aurélien and BUISSONS, Christine.** *Impact de la régulation des vitesses sur un écoulement routier.*
37. **SETRA, CETE LYON, CETE NORMANDIE - CENTRE.** *Emissions routières de polluants atmosphériques – Courbes et facteurs d'influence.* 2009.
38. **Luc Int Panis, Steven Broekx, Ronghui Liu.** Modeling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits. *Science of the total Environment.* 2006, Vol. 371, pp. 270-285.
39. *A methodology for modelling and measuring traffic and emission performance of speed control traffic signals, Atmospheric Environment, 39, 2367–2376.* **COEHLO M.C., FARIAS T.L., ROUPHAIL N.** 2005.
40. *Cartographie Routière : Comparaison des modèles d'émissions.* **ABALLEA F.-E., RENE P.-J., COSANDEY L.** 2010.
41. **SETRA.** *Production des cartes de bruit stratégiques des grands axes routiers et ferroviaires, août 2007.*
42. **Cftr.** *Influence de la couche de roulement de la chaussée sur le bruit du trafic routier, Juin 2001.*
43. **DULAU B., DOISY S., HAETTEL J.-P.** Mesures "au passage" du bruit de contact pneumatique-chaussée : méthodologie, application à l'évaluation des performances acoustiques des revêtements routiers. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées.* 2000, 224.
44. **J.P., Demanet M. et Majot.** *Manuel des espaces publics bruxellois.* 1995.
45. **Sud-Ouest, CETE du.** *Les effets en matière de bruit et de pollution sonore d'un grand contournement autoroutier de Toulouse .* Juin 2007.
46. **CEMT, OCDE -.** *La gestion de la vitesse.* 2006.
47. **route, VSS - Union Suisse des Professionnels de la.** *Norme SN 640 040b (1992) « Projets, bases - Types de route ».* Avril 1992.
48. **SETRA.** *Calcul prévisionnel du bruit routier – Profils journaliers de trafic sur routes et autoroutes interurbaines.* Avril 2007.
49. **Institute, Texas Transportation.** *Urban Mobility Index 2001.* Mai 2001.
50. **SETRA.** *Approche de la congestion routière – Méthode de calcul du temps gêné.* Juillet 2009.
51. **BOARD, TRANSPORT RESEARCH.** *Highway capacity manual, 2 nd & 3 rd ed.* 1998.
52. **Appert, Manuel.** Évaluation de la congestion du réseau routier urbain des agglomérations de Montpellier et Nîmes. *Voiron Christine, Dynamiques territoriales méditerranéennes – dynamiques urbaines méditerranéennes.* 2005.
53. **Princeton, Judith F.** *Pratiques innovantes d'exploitation des réseaux routiers en lien avec la mobilité durable.* 2011.
54. **Canada, Transports.** *Le coût de la congestion urbaine au Canada.* Avril 2006.
55. **Québec, Ministère des Transports du.** *Evaluation de la congestion routière dans la région de Montréal.* 2004.

56. **l'ADEME, Cap Environnement pour le compte de.** *Impacts des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique - Etat de l'art des études traitant de l'impact des aménagements routiers (solutions anti-bruit, solutions spécifiques) sur la pollution atmosphérique.* Juillet 2011.
57. *Drivers' Speeding Behaviour and Attitudes to Law Enforcement: a Multisite Roadside Survey in France, Conference on Traffic Safety on Two Continents.* **Biecheler M.B., Peytavin J.** Lisbonne : s.n., 24-27 septembre 1997.
58. *Observed Vehicle Speed and Drivers' Perceived Speed of Others, Applied Psychology: An International Review, 1997, 46 (3), 287-302.* **Aberg L., Larsen L., Glad A., Beilinson L.**
59. **MEEDDM.** *Rapport au Parlement sur les enjeux et les impacts relatifs à la réduction de la vitesse à 80 km/h pour tous les poids lourds circulant sur autoroute et à leur interdiction de se dépasser sur ces axes.* Janvier 2010.
60. **ADEME.** *Analyse de la méthodologie COPERT III – Analyse d'incertitude et de sensibilité.* 2002.
61. **BOURREL, Emmanuel.** *Modélisation dynamique de l'écoulement du trafic routier : du macroscopique au microscopique – thèse de Emmanuel BOURREL - 2003* *Modélisation dynamique de l'écoulement du trafic routier : du macroscopique au microscopique .* 2003.
62. **CERTU.** *Inventaire annuel des émissions polluantes d'origine routière – Sensibilité aux variations temporelles des données de trafic.* Juin 2003.
63. *The Artemis European tools for estimating the pollutant emissions from road transport and their application in Sweden and France - 17th International Conference 'Transport and Air Pollution' .* **al., Michel André et.** 2008.
64. *Emission factor modelling and database for light vehicles – Rapport n°LTE 0523.* Juin 2007.
65. **Méditerranée, Cete.** *Simulation microscopique de trafic : Contournement Ouest de Montpellier.* Octobre 2008.
66. **Douai, Ineris / Ecole des mines de.** *Evaluation of numerical models used to simulate atmospheric pollution near roadways.*
67. **Carslaw, Beevers, westmoreland, williams, Tate, Murrells, Stedman, Li, Grice, Kent, Tsagatakis.** *Trends in Nox and No2 emissions and ambient measurements in the UK.* 2011.
68. **CERTU.** *Note méthodologique sur l' évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routières.* 25 février 2005.

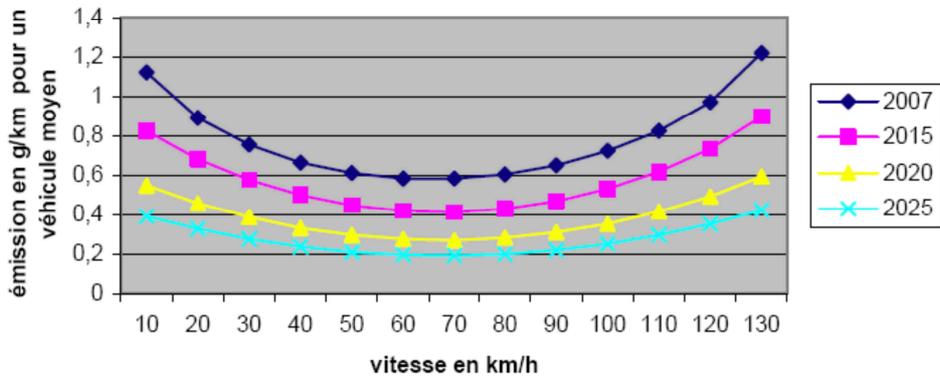
Annexe 1 : Modèles utilisés lors de l'évaluation des impacts environnementaux des zones de limitation de vitesse

Type de modèle	Noms des modèles
Modèles d'émissions	Impact-ADEME, COPCETE, ARTEMIS, MOBILE, EMFAC, COPERT, IMPACT, HBEFA, VERSIT+, EMIT, VT-Micro, CMEM, STREET-MISKAM, VeTESS, MEET, HERMES, MIMOSA 4, aaSIDRA model
Modèles de dispersion	DMRB, ADMS URBAN, HEAVEN, CMAQ, CAMx, KEMA-Stacks, BelEUROS, BSC-DREAM8b
Modèles pour les émissions sonores	SILENCE version 2.4, SETRA, ISAUr
Modélisation du trafic	Paramic, DRACULA
Modèle météorologique	MM5, WRF-ARW

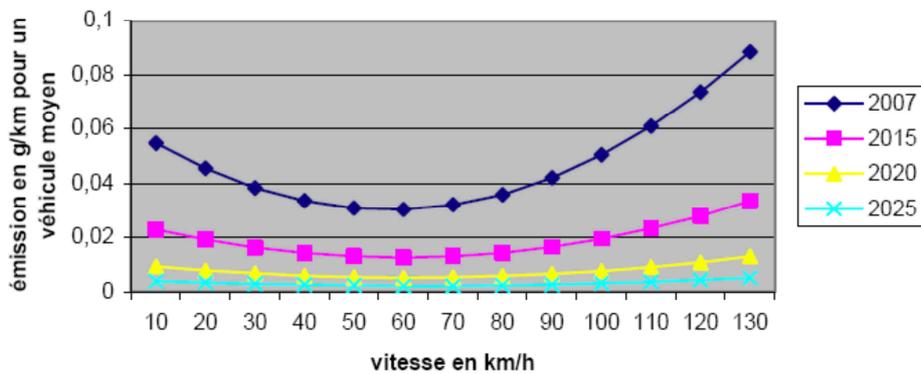
Modèles macroscopiques	Modèles agrégés	COPERT, COPCETE, MOBILE, EMFAC, IMPACT, HBEFA,
	Modèles semi-agrégés	Artemis, VERSIT+
Modèles microscopiques	Modèles unitaires	EMIT, CMEM, VT-Micro

Annexe 2 : Courbes d'émissions de NOx, PM et CO2 pour les VL et les PL (SETRA, CETE (37))

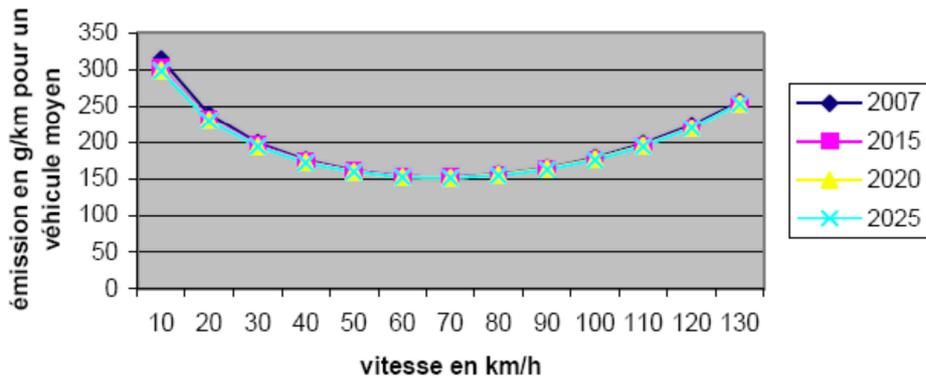
Emissions en fonction de la vitesse _ NOx _ VL



Emissions en fonction de la vitesse _ PM _ VL

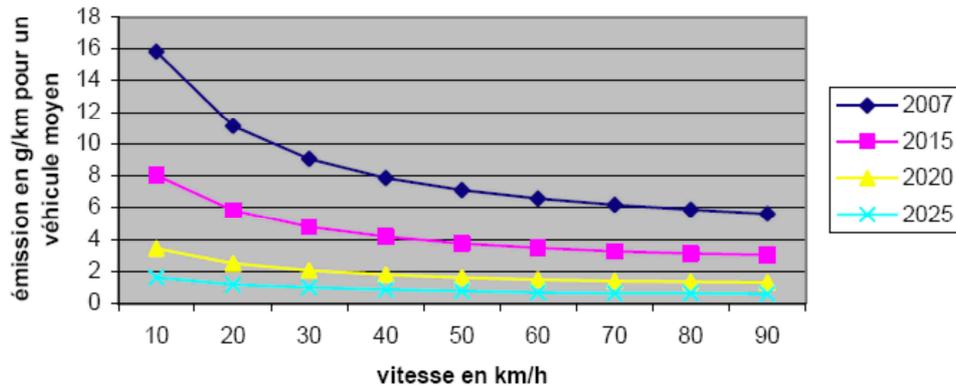


Emissions en fonction de la vitesse _ CO2 _ VL

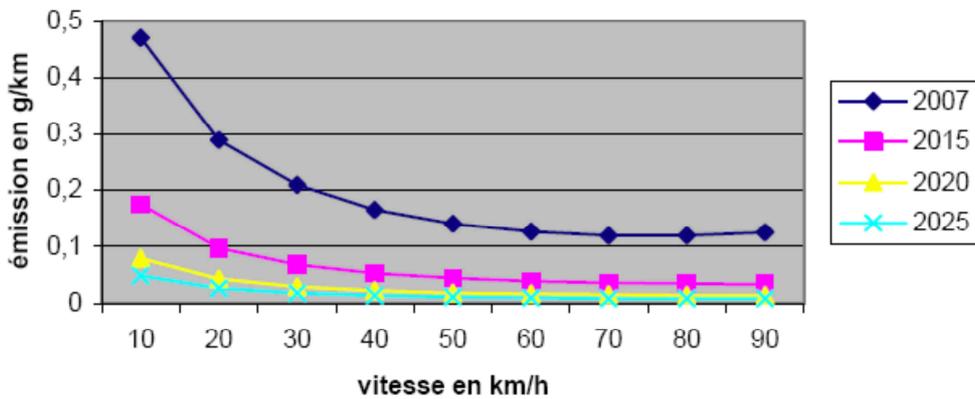


Courbes d'émissions pour les VL

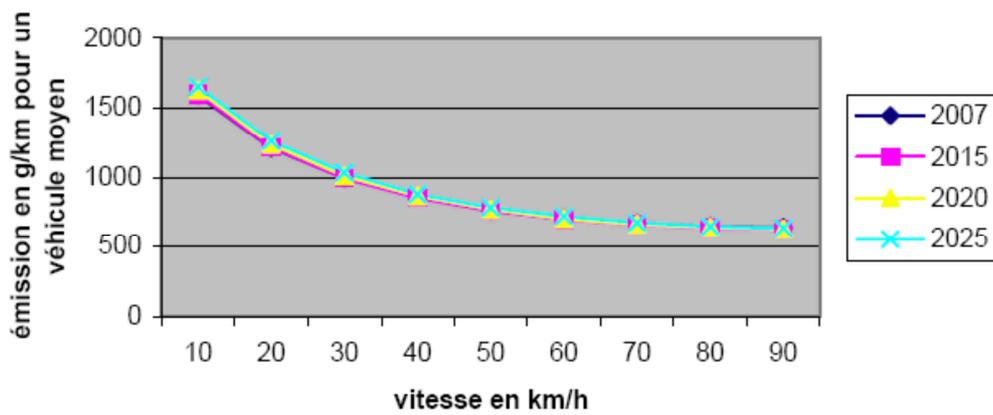
Emissions en fonction de la vitesse _ NOx _ PL



Emissions en fonction de la vitesse _ PM _ PL



Emissions en fonction de la vitesse _ CO2 _ PL



Courbes d'émissions pour les PL

Annexe 3 : Systèmes de classification de la fonctionnalité de la voie

Fonctions	Définition	Caractéristiques	Type de route
Transit	Assurer les déplacements de longue distance	- Distance importante entre les intersections - Nombre d'accès et de sorties limités	- Autoroute et voies rapides - Grand axe urbain
Distribution	Assurer l'entrée et la sortie, à certains intervalles, à tous types de zones urbaines ou rurales	- Intersections fréquentes, ce qui permet des échanges à niveau (changements de direction...) - Très utilisées par différents modes de transport en commun	- Route de campagne - Artère urbaine et grand axe
Accès	Assurer l'accès aux propriétés situées le long de la route ou de la rue	- Intersections fréquentes - Présence d'aménagements physiques pour favoriser le respect des limitations à des vitesses basses	- Rue résidentielle - Rue de campagne

Description des trois fonctions de la voie utilisées dans différents pays européens **(46)**

D'autres classifications existent, la norme suisse SN 640 040b différencie tout d'abord les voies selon leur localisation (47) : en milieu rural ou urbain. Puis, une classification est faite d'après leur capacité et leur accessibilité :

- route à grand débit qui assure un trafic important à grande vitesse.
- route principale qui assure un trafic important et relie les régions.
- route de liaison qui permet de relier des agglomérations et des zones d'une même région.
- route collectrice liant les agglomérations entre elles.
- route de desserte qui sert à conduire les véhicules des limites de la grande voirie à proximité des immeubles d'habitation.

Cette classification permet ainsi de distinguer les routes de transit et les routes d'intérêt local, régional ou national. D'autres méthodes mettent l'accent sur la nature et la proportion de PL. Le SETRA propose une classification en fonction des PL selon les axes de transit qui différencie les fonctions longues distances et régionales, comme l'indique le tableau suivant.

Fonctions vis-à-vis des PL	Nature de PL	Caractéristiques
Fonctions longues distance	Véhicules de gros tonnage	- Liaisons à caractère nationale ou internationale - Part des parcours effectués de nuit important
Fonction régionale	Véhicules de petits et moyens tonnages	- Liaisons régionales - Trajets courts et répétitifs - Part de parcours effectués de nuit faible

Classification des fonctions vis-à-vis de la nature de PL **(48)**

Annexe 4 : Indicateurs de la congestion et conditions de circulation en fonction de certains de ces indicateurs

Mesures ou indicateurs de la congestion	Calcul	Paramètres à renseigner
« Travel Delay » ou retard (min)	Mesuré	
« Roadway Congestion Index » (RCI)	$\frac{\text{Débit total quotidien}}{\text{Capacité de la voie}}$	Débit journalier (TMJA, mesure...), capacité de la voie
« Travel Rate Index » (TRI)	$\frac{\text{Retard (hors congestion incidente)}}{\text{Temps dans une situation d'écoulement libre}}$	Retard, temps requis dans une situation d'écoulement libre
« Travel Time Index » (TTI)	$\frac{\text{Retard}}{\text{Temps dans une situation d'écoulement libre}}$	Retard, temps requis dans une situation d'écoulement libre
Proportion de temps gêné	$(1 + \gamma_{VL}) / (\gamma_{VL} + \left(\frac{K_{UVP}}{X_{UVP}}\right)^{\alpha_{VL}})$	Débit horaire des véhicules particuliers (X_{UVP}), type de route (coefficients α_{VL} , γ_{VL}), capacité du type de routes en UVP (K_{UVP})
Taux de déplacement	$\frac{\text{Temps de déplacement (min)}}{\text{Longueur du segment (km)}}$	Temps de déplacement, longueur de la route ou du segment.
Taux de retard $\left(\frac{\text{min}}{\text{km}}\right)$	Taux de déplacement réel - Taux de déplacement acceptable	Taux de déplacement réel, taux de déplacement acceptable (fixé)
Itinéraire congestionné (véh.km)	Débit x \sum Longueurs de segments congestionnés	Débit (TMJA...), longueurs de segments congestionnés

Mesures ou indicateurs de la congestion **(49) (50)**

Les conditions de circulation peuvent aussi être décrites par temps gêné. Ainsi, dans le cas d'une autoroute à 2x3 voies supportant un trafic de PL de 20%, le tableau ci-dessous décrit les différents niveaux en fonction de la proportion de temps gêné pour les VL définie par le SETRA (50). Les VL commencent à être gênés à partir d'un seuil de trafic de 56000 véh/j en moyenne annuelle. Cette gêne est ressentie comme forte à partir de 64000 véh/j. La situation devient très fortement dégradée à partir d'un seuil de 74000 véh/j en moyenne annuelle, les conducteurs étant gênés pendant près de la moitié de leur temps de parcours.

Conditions de circulation	% de temps de gêne pour les VL en moyenne annuelle (%)	TMJA (véh/j)
Fluide	< 10	< 56000
Dégradée	10 à 20	56000 à 64000
Fortement dégradée	20 à 45	64000 à 74000
Très fortement dégradée	> 45	> 74000

Conditions de circulation en fonction de la proportion de temps de gêne pour les VL en moyenne annuelle et le TMJA

Dans le « Highway Capacity Manual », une classification par niveau de service LOS (« Level Of Service ») a été développée (51). Chaque LOS est associé à des conditions de circulation particulières. Parmi les indicateurs de la congestion, le rapport débit/capacité permet de décrire ce niveau et ainsi les conditions de circulation associées, pour chaque type d'infrastructure (autoroute, voie urbaine...). Les tableaux ci-dessous présentent le cas d'une autoroute et d'une voie express, pour une capacité de 1800 UVP/voie/h, ainsi que les quatre niveaux de service NSC utilisés en France.

LOS	Circulation	Description des conditions de circulation	Débit / Capacité
LOS A	Fluide	Les conditions de circulation sont idéales, les usagers tendent à rouler à la vitesse optimale sans gêne réciproque.]0 - 0,318]
LOS B		La circulation est fluide. Les dépassements peuvent toutefois être délicats, la vitesse observée est proche de celle autorisée.]0,318 - 0,509]
LOS C	Chargée	La circulation est plus chargée, les manœuvres deviennent difficiles. La vitesse commence à s'abaisser.]0,509 - 0,747]
LOS D	Dense	La circulation devient plus dense, les changements de voies sont très difficiles et occasionnent une importante baisse de vitesse.]0,747 - 0,916]
LOS E		La circulation est fortement ralentie, l'écoulement devient capacitif. Les conditions de circulation sont très instables, un incident même mineur conduit au LOS F.]0,916 - 1]
LOS F	Saturée	La capacité de la voie est insuffisante, des phénomènes de retenue se forment. La circulation est alors ralentie voire stationnaire. L'écoulement n'est plus continu.	> 1

Les niveaux de service pour les autoroutes et voies rapides dans le « Highway Capacity Manual » (52)

Classification française	Circulation	Débit / Capacité
NSC ₁	Fluide]0 - 0,75[
NSC ₂	Fluide à dense]0,75 - 0,90[
NSC ₃	Dense]0,90 - 1]
NSC ₄	Saturée, congestionnée	>1

Les niveaux de service utilisés en France (53)

REMERCIEMENTS

Le groupe de travail chargé de rédiger ce rapport a été piloté par M. Mohamedou Ba, M. Emmanuel Thibier, Mme Marie Pouponneau et M. Laurent Gagnepain de l'ADEME. Ce rapport a été conçu, rédigé et suivi par un groupe de travail composé de :

Etienne de Vanssay – Cap Environnement
Vincent Tessauro – Cap Environnement
Roger Phetramphand – Cap Environnement
Isabelle Coll – LISA
Abderrazak Yahyaoui – Lig' Air
Patrice Colin – Lig' Air
Frédéric Lafage – Orfea Acoustique
Nicolas Hero – Orfea Acoustique
Fabienne Marseille – CERTU
Cédric Ansart – CERTU

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leur contribution dans cette étude :

Marie-Paule Thaveau – CERTU
Benoît Hiron – CERTU
Vincent Demeules – CETE Normandie
Guillaume Dutilleux – CETE Est
Michel Berengier – IFSTTAR
Anne-Laure Badin – SETRA
Florence Portelette – ASFA
François Cape – Cap Environnement
Steeve Rasoanaivo – Cap Environnement

En français :

L'ADEME en bref :

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

www.ademe.fr.

En anglais :

About ADEME:

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is a public agency under the joint authority of the Ministry for Ecology, Sustainable Development, Transport and Housing, the Ministry for Higher Education and Research, and the Ministry for Economy, Finance and Industry. The agency is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development.

ADEME provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work the agency helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

www.ademe.fr.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

