

Rapport d'études

Imputation aux usagers PL et VL du coût d'infrastructure des routes

Sommaire

Introduction.....	5
Synthèse de l'étude.....	7
Rappels sur la directive Eurovignette 2006/38/CE.....	11
Chapitre 1 - Démarche de l'étude	
1.1 - Analyse de l'existant.....	14
1.2 - Les expériences étrangères.....	15
1.3 - Démarche retenue.....	15
Chapitre 2 - Analyse de l'incidence des PL sur les coûts de construction des routes	
2.1 - Identification des surcoûts de construction liés à la circulation des PL.....	20
2.2 - Quantification de la responsabilité des PL dans ces surcoûts.....	26
2.3 - Conclusion : incidence globale du trafic PL sur les coûts de construction.....	37
Chapitre 3 - Analyse de l'incidence des PL sur les coûts d'entretien des routes	
3.1 - Identification des surcoûts d'entretien et d'exploitation liés à la circulation des PL.....	40
3.2 - Quantification de la responsabilité des PL dans ces surcoûts.....	42
3.3 - Conclusion : incidence globale du trafic PL sur les coûts d'entretien.....	43
Conclusion générale - résultats de l'étude et directive Eurovignette	
Bibliographie.....	46
Glossaire.....	48
Annexe 1 - La doctrine française sur l'imputation des charges d'infrastructure.....	52
Annexe 2 - Influence de la prise en compte des PL sur les ouvrages d'art.....	57
Annexe 3 - Imputation des coûts de construction d'une route neuve.....	64
Annexe 4 - Liste des personnes et institutions rencontrées ou ayant participé à l'étude.....	68

En Octobre 2006, la Direction Générale des Routes (DGR) a commandé au Sétra une étude sur l'incidence de la circulation des PL sur les coûts des infrastructures routières afin d'alimenter ses travaux de transposition de la directive 2006\38 (Eurovignette 2). Cette directive vient encadrer les modalités de tarification du réseau routier transeuropéen pour les PL en limitant les niveaux moyens de péages aux coûts d'infrastructure engendrés par la circulation des PL. Ces limitations sont précisées dans les annexes de la directive qui devront, soit être transposées en l'état, soit être adaptées à la doctrine de construction des routes du pays, pourvu que celle-ci soit validée par la Commission Européenne.

La DGR a donc demandé au Sétra de justifier et quantifier l'incidence du trafic PL sur les coûts des routes du réseau transeuropéen hors autoroutes concédées (puisque celles-ci sont déjà soumises à redevance) en prévision de cette transposition. Ce rapport d'étude présente les résultats de cette analyse, renvoyant pour les parties les plus techniques, à d'autres rapports ou études du Sétra. Certaines de ces contributions sont rapportées en annexe. Il rappelle dans un premier temps les éléments imposés par la directive Eurovignette en matière d'évaluation des coûts de la circulation des PL sur les routes, puis il fournit les résultats des analyses sur le cas français, avant de conclure sur quelques précautions en vue de la transposition de la directive.

Page laissée blanche intentionnellement

Imputation aux usagers PL et VL du coût d'infrastructure des routes

Collection les rapports

Document édité par le Sétra dans la collection « les rapports ».
Cette collection regroupe les rapports d'études, de recherche,
d'expérimentation, les synthèses de connaissances.

Sommaire détaillé

Introduction.....	5
Synthèse de l'étude.....	7
Méthode d'imputation des charges d'infrastructure routière.....	7
Imputation des charges d'investissement.....	8
Imputation des charges d'entretien.....	9
Conclusion : comparaison avec les annexes 3 et 4 de la directive Eurovignette.....	10
Rappels sur la directive Eurovignette 2006/38/CE.....	11
Chapitre 1 - Démarche de l'étude.....	13
1.1 - Analyse de l'existant.....	14
1.2 - Les expériences étrangères.....	15
1.3 - Démarche retenue.....	15
Chapitre 2 - Analyse de l'incidence des PL sur les coûts de construction des routes.....	19
2.1 - Identification des surcoûts de construction liés à la circulation des PL.....	20
2.1.1 - La section courante.....	21
2.1.2 - Échanges et rétablissements routiers.....	23
2.1.3 - Rétablissements non routiers.....	23
2.1.4 - Section courante spécifique : tunnels et tranchées.....	24
2.1.5 - Section courante spécifique : viaducs.....	24
2.1.6 - Murs de soutènement.....	24
2.1.7 - Aires.....	24
2.1.8 - Centres d'entretien et d'intervention.....	25
2.1.9 - Aménagement des voies à rétrocéder.....	25
2.1.10 - Éléments non ventilés.....	25
2.1.11 - Conclusion.....	25
2.2 - Quantification de la responsabilité des PL dans ces surcoûts.....	26
2.2.1 - Structure des chaussées.....	26
2.2.2 - Terrassements (couche de forme).....	30
2.2.3 - Assainissement.....	31
2.2.4 - Ouvrages d'art de type viaduc.....	32
2.2.5 - Aires de stationnement.....	33
2.2.6 - Environnement – Bruit.....	33
2.2.7 - Conclusion : incidence globale du trafic PL sur les coûts de construction.....	34
2.3 - Conclusion : incidence globale du trafic PL sur les coûts de construction.....	37

Chapitre 3 - Analyse de l'incidence des PL sur les coûts d'entretien des routes....	39
3.1 - Identification des surcoûts d'entretien et d'exploitation liés à la circulation des PL.....	40
3.1.1- Surcoûts liés à l'entretien préventif et aux grosses réparations.....	40
3.1.2 - Surcoûts liés à l'entretien courant et l'exploitation.....	40
3.1.3 - Surcoûts liés à la maintenance et à la réhabilitation des ouvrages d'art.....	41
3.1.4 - Surcoûts liés aux aménagements de sécurité.....	41
3.1.5 - Surcoûts liés aux autres dépenses de la DGR.....	41
3.1.6 - Surcoûts liés aux autres dépenses de la DGMT et de la DSCR.....	42
3.2 - Quantification de la responsabilité des PL dans ces surcoûts.....	42
3.2.1 - Surcoûts d'entretien structurel.....	42
3.2.2 - Autres surcoûts.....	43
3.3 - Conclusion : incidence globale du trafic PL sur les coûts d'entretien.....	43
Conclusion générale : résultats de l'étude et directive Eurovignette.....	45
Bibliographie.....	46
Guides techniques.....	46
Textes officiels.....	47
Logiciels.....	47
Articles scientifiques.....	47
Glossaire.....	48
Annexe 1 - La doctrine française sur l'imputation des charges d'infrastructure.....	52
Annexe 2 - Influence de la prise en compte des PL sur les ouvrages d'art	
1 – Généralités.....	57
1.1 - Le parc d'ouvrages du réseau routier national.....	57
1.2 - Statistiques de la construction.....	57
1.3 - Dimensionnement des ouvrages d'art.....	57
2 – Investissement.....	58
2.1 - Influence de la prise en compte des poids lourds sur la géométrie des ouvrages d'art.....	58
2.2 - Influence de la prise en compte des poids lourds sur la capacité portante des ouvrages.....	59
2.3 - Influence de la prise en compte des poids lourds sur la résistance à la fatigue des ouvrages.....	61
2.4 - Conclusion sur l'influence de la prise en compte des poids lourds dans les coûts d'investissement.....	62
3 - Entretien et réparation.....	62
3.1 – Définitions.....	62
3.2 - Différentes causes d'intervention.....	63
3.3 - Conclusion sur les coûts d'entretien et de réparation des ouvrages.....	63
Annexe 3 - Imputation des coûts de construction d'une route neuve.....	64
Annexe 4 - Liste des personnes et institutions rencontrées ou ayant participé à l'étude.....	68

Introduction

En Octobre 2006, la Direction Générale des Routes (DGR) a commandé au Sétra une étude sur l'incidence de la circulation des PL sur les coûts des infrastructures routières afin d'alimenter ses travaux de transposition de la directive 2006\38 (Eurovignette 2). Cette directive vient encadrer les modalités de tarification du réseau routier transeuropéen pour les PL (c'est-à-dire les véhicules de transport de marchandises de plus de 3,5t) en limitant les niveaux moyens de péage aux coûts d'infrastructure engendrés par la circulation des PL. Ces limitations sont précisées dans les annexes de la directive qui devront, soit être transposées en l'état, soit être adaptées à la doctrine de construction des routes du pays, pourvu que celle-ci soit validée par la Commission Européenne.

La DGR a donc demandé au Sétra de justifier et quantifier l'incidence du trafic PL sur les coûts des routes du réseau transeuropéen hors autoroutes concédées (puisque celles-ci sont déjà soumises à redevance) en prévision de cette transposition. Ce rapport d'études présente les résultats de cette analyse, renvoyant pour les parties les plus techniques, à d'autres rapports ou études du Sétra (*cf.* bibliographie de l'étude). Certaines de ces contributions sont rapportées en annexe, l'une d'entre elles a fait l'objet d'un rapport d'études publié en avril 2009 par le Sétra : *Incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées neuves*.

Ce rapport d'études rappelle après une synthèse des résultats, les éléments imposés par la directive Eurovignette en matière d'évaluation des coûts de la circulation des PL sur les routes, puis il fournit les résultats des analyses sur le cas français, avant de conclure sur quelques précautions en vue de la transposition de la directive.

Synthèse de l'étude

D'après la directive Eurovignette, le calcul des niveaux de péage pour les PL (de plus de 3,5t) sur le réseau transeuropéen doit être fondé sur un calcul d'imputation des charges d'infrastructure entre les différents usagers de la route.

Ce travail d'imputation des charges des infrastructures routières aboutit à l'établissement de coefficients d'équivalence du même type que ceux proposés par l'annexe III de la directive qui fournit des coefficients d'équivalence par défaut et entre PL seulement.

Cette synthèse présente la méthode utilisée et les coefficients d'équivalence obtenus par le Sétra dans sa démarche d'imputation des charges d'infrastructure routière en France.

Méthode d'imputation des charges d'infrastructure routière

Pour imputer les charges d'infrastructure routière aux différents usagers de la route, la méthode proposée consiste à étudier séparément les dépenses d'investissements de celles d'entretien.

Pour les dépenses d'investissement, la méthode d'imputation repose sur une comparaison entre les coûts de construction d'une route fictive construite dans un contexte imaginaire où il n'y aurait pas ou quasiment pas de PL sur la route et ceux d'une route « moyenne » sur le réseau routier national français. Dans les deux cas, soit la doctrine technique française est directement appliquée, soit on fait appel à ses fondements théoriques (notamment pour les chaussées et les ouvrages d'art) afin de mettre en évidence l'incidence de la prise en compte des PL sur l'investissement. Ainsi, tous les « éléments fonctionnels » d'une route (tels que définis par la circulaire n°94-56 du 5 Mai 1994 définissant les modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissement sur le réseau routier national non concédé) sont examinés l'un après l'autre afin de mettre en évidence les surcoûts liés à la présence de PL mais aussi, lorsque cela est possible, la responsabilité relative d'un type de PL par rapport à un autre et d'établir des règles d'imputation des coûts de chaque élément fonctionnel. Découper la route en éléments fonctionnels permet ensuite d'utiliser les bilans financiers (prévus par cette même circulaire) réalisés par les maîtres d'ouvrage délégués de l'Etat et donc d'avoir des données sur le poids relatif de chacun de ces éléments dans les coûts totaux d'investissement. On obtient ainsi des coefficients d'équivalence portant sur l'investissement. La partie 2 détaille cette démarche pour chaque élément fonctionnel puis fournit des coefficients globaux pour l'investissement.

Pour les dépenses d'entretien, on ne considère pas d'infrastructure fictive qu'il faudrait entretenir et sur laquelle aucun PL ne circulerait. En effet, pour l'entretien, on cherche directement pour chaque poste de dépenses identifié dans la LOLF (avec son référentiel de l'année 2006) et mis en œuvre sur le réseau à mettre en évidence une éventuelle responsabilité des PL, à la chiffrer et à l'imputer entre les différents types de PL en fonction d'un critère objectif représentant l'usage marginal de l'infrastructure. La partie 3 présente l'imputation de ces charges pour les sous-actions de l'action n°2 « entretien et exploitation » du programme 203 « Réseau Routier National » et pour l'action n°4 « Gestion du trafic et information des usagers » du programme 207 « Sécurité routière » et la sous-action liée au contrôle routier de l'action n°2 « Régulation, contrôle, sécurité et sûreté des services de transports terrestres » du programme 226 « Transports terrestres et maritimes ». Ces crédits ne comprennent pas les dépenses de personnel et de fonctionnement qui sont prises en compte lors de l'imputation a posteriori du calcul des coefficients d'équivalence.

Imputation des charges d'investissement

Pour imputer les charges d'investissement, on considère différents scénarios dans lesquels on interdit ou on autorise la circulation de différents types de PL. Le scénario 0 ou scénario de référence correspond à une route fictive qui n'accueillerait pas de PL exceptés quelques petits véhicules lourds de moins de 12t pour assurer des missions d'entretien et de secours. Les scénarios 1, 2 et 3 correspondent à des routes accueillant du trafic PL. Dans ces trois scénarios, le volume global de PL est constant et représente 12 % des vkm tous véhicules. Cette part correspond à la part de PL réellement observée sur le Réseau Routier National hors autoroutes concédées lors du sondage de circulation 2004-2005. La différence entre les scénarios 1, 2 et 3 ne provient donc pas du volume total de PL considérés mais du type de PL autorisés. Dans le scénario 1, on autorise seulement la circulation de PL à 2 essieux de moins de 12t ; ces PL sont des PL dits de classe 1. Dans le scénario 2, on considère des PL à 2 ou 3 essieux ; on y trouve donc des PL de classe 1 et de classe 2. Enfin, dans le scénario 3, on considère que tous les types de PL peuvent circuler sur la chaussée ; les nouveaux PL introduits dans ce scénario sont de classe 3. Pour représenter la diversité de la population de PL dans chaque scénario, on s'appuie sur les données issues des stations de comptages SATL (Système d'Analyse du Trafic Lourd) qui permettent de connaître la part relative de chaque type de PL dans la population globale.

La définition des 3 classes présentées précédemment est le résultat d'un processus en plusieurs étapes.

Dans un premier temps, seule l'imputation des structures de chaussées a été étudiée ; ceci a permis de définir des classes de PL en fonction du dommage relatif de chaque type de PL chargé à son PTAC (Poids Total Autorisé en Charge) ou PTR A (Poids Total Roulant Autorisé) sur les chaussées françaises (ce dommage relatif est mesuré par l'agressivité du PL). Les classes ainsi obtenues étaient légèrement différentes de celles présentées précédemment : la classe 1 était identique, mais certains PL de la classe 3 passaient dans la classe 2 (il s'agissait de PL de 40t : le semi-remorque à 5 essieux avec 3 essieux sur le tracteur et un tandem à l'arrière, les ensembles articulés de 5 essieux et plus – ces PL représentent environ 6 % des vkm effectués par des PL en France).

Ensuite, d'autres éléments de la route ont été examinés. Pour les ouvrages d'art par exemple, le critère déterminant était le PTAC ou PTR A, ce qui conduisait à définir des classes du même type que celles finalement retenues. Ceci entraînait une remise en cause les classes définies pour les chaussées.

Finalement, pour des raisons de simplicité de définition des classes, il a été décidé de retenir les 3 classes en fonction de critères sur le PTAC ou PTR A et sur le nombre d'essieux. Il a été vérifié que cela ne modifiait pas fortement les résultats sur les chaussées.

Une fois ces classes définies, les scénarios correspondants ont été construits et pour chaque élément fonctionnel de la route, les coûts de construction ont été évalués sur la base de données issues de suivis des coûts de construction réalisés par le Réseau Scientifique et Technique du Ministère dans le domaine routier, puis imputés aux différents usagers.

L'imputation des charges d'investissement se fait donc à partir de la traduction en coûts de chacun des scénarios. Il s'agit ensuite de répartir les surcoûts d'un scénario à l'autre aux nouveaux usagers introduits et considérés comme responsables de ces surcoûts. Cette opération d'imputation est un problème qui n'a pas de solution unique et qui est sensible à l'ordre de définition des scénarios. Dans le cas présent, il a été décidé de procéder comme suit :

- les surcoûts entre le scénario 3 et le scénario 2 sont imputés aux PL de classe 3 ;
- les surcoûts entre le scénario 2 et le scénario 1 sont imputés aux PL de classe 2 et 3 au prorata des parts relatives des parts des classes 2 et 3 dans le trafic observé sur les stations SATL ;
- les surcoûts entre le scénario 2 et le scénario 1 sont imputés à tous les PL au prorata des parts de chaque classe de PL dans le trafic observé ;
- les coûts fixes calculés dans le scénario 0 sont répartis entre tous les usagers, PL et VL au prorata des parts relatives de chaque usager dans le trafic observé (les PL représentant 12 % du trafic tous véhicules). On utilise pour répartir ces dépenses un coefficient d'équivalence PL/VL de 2,5 afin de tenir compte de l'encombrement relatif des deux types de véhicules. La valeur de ce coefficient est celle

utilisée dans les courbes temps-débit. Pour le stationnement, ce coefficient est modifié pour passer de 2,5 à 4 qui représente l'espace occupé par une place PL par rapport à une place VL.

Pour calculer le coût global de chacun des scénarios, on examine la part des différents postes de dépenses des investissements. Ceux-ci sont identifiés par l'Observatoire des coûts du RRN non concédé qui suit les dépenses effectuées sur les projets routiers depuis 1999 par élément fonctionnel. Les éléments fonctionnels ainsi examinés sont les suivants :

- section courante (élément fonctionnel n°1) ;
- échange et rétablissement routier (éléments fonctionnels n°2 et 3) ;
- rétablissement non routier (élément fonctionnel n°4) ;
- section courante spécifique : tunnels ou tranchées (élément fonctionnel n°5) ;
- section courante spécifique : viaducs (élément fonctionnel n°6) ;
- murs de soutènement (élément fonctionnel n°7) ;
- aires (élément fonctionnel n°8) ;
- centre d'entretien et d'intervention (élément fonctionnel n°9) ;
- aménagement des voies à rétrocéder (élément fonctionnel n°10) ;
- éléments non ventilés : autres dépenses non directement liées à un élément fonctionnel.

Tous ces éléments fonctionnels ne font pas l'objet de surcoûts liés aux PL. Au final, seuls les postes suivants sont examinés en détail de sorte à déterminer des coefficients d'équivalence PL/VL :

- section courante : des coefficients d'équivalence sont déterminés pour les postes chaussées, terrassement et assainissement qui composent cet élément ;
- échange et rétablissement routier : des coefficients d'équivalence sont déterminés pour les postes chaussées et ouvrages d'art ;
- section courante spécifique : seuls les viaducs sont étudiés ;
- aires : des coefficients sont définis en fonction de l'incidence des PL sur les chaussées et de l'occupation relative PL/VL de l'aire.

A partir des coefficients obtenus pour les postes rappelés ci-dessus, on établit finalement des coefficients globaux pour l'investissement, en tenant compte de la part relative de chacun des postes étudiés dans l'investissement observé via l'observatoire sur les coûts sur l'investissement routier pour le RRN non concédé. Ces parts étant susceptibles d'évoluer dans le temps (évolution des prix, de la structure des investissements routiers ...), il serait souhaitable de ré-évaluer régulièrement les coefficients d'équivalence proposés.

Usagers	VL	Classe 1 PL	Classe 2 PL	Classe 3 PL
Coefficient d'équivalence	1	3,8	4,4	5,5

Tableau 1 : coefficients d'équivalence pour l'investissement

Imputation des charges d'entretien

Les dépenses d'entretien des infrastructures routières sont suivies avec les programmes, actions et sous-actions de la LOLF. Cette nomenclature peut évoluer d'une année sur l'autre. La présente étude ayant été réalisée en 2007, elle s'appuie sur le référentiel 2006 de la LOLF.

Parmi les dépenses examinées, seules les dépenses pour l'entretien structurel font l'objet d'une imputation différenciée entre PL et VL en fonction d'un critère différent de l'encombrement du véhicule. En effet, ces dépenses sont liées uniquement à la présence de PL et la responsabilité relative des PL dans ces dépenses peut être « mesurée » via le calcul d'agressivité des différentes silhouettes. Finalement, deux ensembles de coefficients ont été calculés pour tenir compte des différentes techniques de chaussées construites sur le Réseau

Routier National (bitumineuse pour 38 % du RRN, semi-rigides pour 41 %), ce qui permet d'aboutir au tableau suivant.

Usagers	VL	Classe 1 PL	Classe 2 PL	Classe 3 PL
Chaussée bitumineuse	0	1	16	48
Chaussée semi-rigide	0	1	259	728

Tableau 2 : coefficients d'équivalence pour l'entretien structurel

Les autres postes de dépenses peuvent être imputés par défaut avec un coefficient PL/VL de 2,5 afin de représenter l'usage relatif de l'infrastructure par les différents véhicules ou avec un coefficient de 1 si l'on considère que certaines de ces dépenses ne sont pas à relier à l'usage de l'infrastructure (dépenses de l'administration par exemple).

Conclusion : comparaison avec les annexes 3 et 4 de la directive Eurovignette

Finalement, la méthode proposée ici pour imputer les charges d'infrastructure routière aux PL et aux VL dans le cas français conduit à définir des classes de PL différentes de celles proposées par l'annexe 4 de la directive Eurovignette et à avoir des coefficients sensiblement différents de l'annexe 3.

Rappels sur la directive Eurovignette 2006/38/CE

La directive 2006/38/CE du 9 Juin 2006 dite « nouvelle directive Eurovignette » révisé la directive 1999/62/CE quant aux modalités à respecter en matière de péages routiers acquittés par les poids lourds sur le réseau transeuropéen.

Ainsi, les péages pour l'utilisation des infrastructures doivent être fondés uniquement sur le principe de recouvrement des coûts d'infrastructure : construction, exploitation, entretien et éventuellement développement. Les « péages moyens pondérés » (en fonction du nombre de véhicules.km) doivent permettre de couvrir tout ou partie de ces coûts. Par ailleurs, il est possible de moduler ces péages en vue de réguler certains effets externes négatifs (pollution et congestion) ainsi que d'appliquer des sur-péages dans certaines zones sensibles et sous certaines conditions spécifiées explicitement dans la directive.

Cette directive impose donc de chercher à savoir à quelle hauteur il convient d'imputer les coûts d'infrastructure aux usagers PL en fonction de la catégorie de leur véhicule. Ce problème est celui de l'établissement de **coefficients d'équivalence ou d'imputation** entre classes de véhicules en vue de faire payer le « juste prix » à chacun. Ces classes de véhicules restent à définir mais la directive propose un système de classification indicatif dans son annexe IV. De plus, l'annexe III de la directive propose un certain nombre de coefficients par défaut à considérer comme des coefficients d'imputation maximum. Ces coefficients sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Classe de véhicule (PL)	Nombre d'essieux	Poids minimal	Poids maximal	Coefficients d'équivalence		
				Réparations structurelles	Investissement	Entretien annuel
0	2	3,5t	7,5t	1	1	1
I	2	7,5t	18t	1,96	1	1
	3	15t	26t			
	4	23t	29t			
	2+1	7,5t	28t			
	2+2	23t	29t			
II	3+3	36t	40t	3,47	1	1
	4	29t	31t			
	2+2	29t	33t			
	2+3	36t	40t			
	3+2	36t	40t			
III	3+3	40t	44t	5,72	1	1
	2+3	40t	44t			
	2+2	40t	44t			

Tableau 3 : directive Eurovignette - coefficients d'équivalence (annexes 3 et 4)

La directive laisse l'opportunité pour chaque Etat membre de proposer ses propres coefficients, à condition qu'ils respectent le principe général d'imputation des charges d'infrastructure. Ce rapport cherche à établir ces coefficients dans le cas français et à les comparer à ceux proposés par la directive. Pour cela, il pose la question de l'incidence du trafic de PL sur les coûts de construction et d'entretien des infrastructures routières.

Chapitre 1

Démarche de l'étude

La démarche adoptée pour évaluer l'incidence du trafic PL sur les coûts des infrastructures routières a été définie suite à une analyse des études réalisées par le passé sur le sujet et des expériences étrangères en matière d'évaluation et d'imputation des charges routières dans les pays ayant mis en place un système de tarification routière au kilomètre parcouru pour les PL.

Cette première partie rappelle les résultats de ces deux analyses avant de présenter la démarche finalement retenue.

1.1 - Analyse de l'existant

Dans les années 90 et 2000, l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction et d'entretien des routes est un sujet abordé à la Direction des Routes et au Conseil Général des Ponts et Chaussées (CGPC) au travers des études sur la couverture des charges des infrastructures routières par les différents usagers de la route. Le rapport de 2003 sur la couverture des coûts des infrastructures routières (GRESSIER, 2003) est le plus récent en la matière. Comme les précédents rapports sur ce thème, il présente les coûts engendrés par la circulation routière (coûts d'investissement, d'entretien et d'exploitation des infrastructures mais aussi coûts externes) qu'il met en regard des recettes générées pour différents types d'usagers (PL et VL) et de réseaux (autoroutes concédées, réseaux national, départemental et communal). Pour répartir les dépenses entre PL et VL, cette étude de 2003 approfondit les réflexions sur l'évaluation des coûts externes mais réutilise des clés de répartition pour les différents coûts d'infrastructure issues du précédent rapport sur la couverture des charges routières qui lui-même reprend ces ratios d'autres sources antérieures. Ainsi, pour connaître les fondements de ces clés de répartition, il faut remonter à plusieurs études des années 70 et 80 sur l'incidence du trafic PL sur les coûts d'infrastructure.

En étudiant ces ratios et leur mode de calcul (cf synthèse doctrine française en annexe A réalisée pour la DGR par le Sétra en Janvier 2007), il est apparu qu'il était nécessaire de ré-évaluer ces clés d'imputation des charges des infrastructures routières en caractérisant plus précisément l'incidence du trafic PL sur les coûts des infrastructures.

Par ailleurs, l'incidence du trafic PL sur les coûts des infrastructures routières ou de certains éléments de ces infrastructures a été étudiée par divers acteurs, dans différents contextes.

En 1992, l'Union des Sociétés des Autoroutes à Péage (USAP) publie une étude sur l'incidence des PL sur les coûts de construction, d'entretien et d'exploitation des autoroutes concédées afin de ré-évaluer les coefficients PL/VL des grilles tarifaires. En 1998, le Sétra réalise une étude sur l'opportunité de construire une autoroute dédiée aux VL (étude A51) et s'attache à évaluer les économies que l'absence de PL pourrait engendrer.

Ces études s'appuient sur la même méthode : analyse des différents coûts d'une route, définition de la part de ces coûts imputables exclusivement aux PL et répartition des coûts fixes restants entre PL et VL. Elles ne distinguent pas les PL entre eux et peuvent paraître sur certains thèmes difficilement généralisables au réseau routier national entier (l'étude de l'USAP est propre au mode de gestion des autoroutes concédées tandis que l'étude de A51 est propre à un contexte de montagne et donc de construction dans un environnement très contraint).

Toutefois, la démarche générale a pu être reprise par la suite dans la présente étude. Certains résultats ont pu être directement utilisés (dans ce cas nous le préciserons dans le reste de l'étude) tandis que d'autres ont fait l'objet d'études complémentaires, en particulier lorsqu'on a voulu distinguer l'incidence de différentes catégories de PL sur les coûts des routes.

1.2 - Les expériences étrangères

Certains voisins européens ont récemment mis en place un système de tarification au kilomètre parcouru applicable aux PL. Dans les cas suisse, allemand et autrichien, il a été possible de trouver des documents présentant les études réalisées lors de la mise en place du système afin d'évaluer et de justifier les niveaux de péage à appliquer. Début 2007, une note synthétisant ces expériences étrangères a été transmise par le Sétra à la DGR. Plusieurs remarques peuvent être formulées sur ces expériences étrangères :

- d'abord, il faut rappeler que tous ces pays ont mis en place leur système de tarification avant l'entrée en vigueur de la directive Eurovignette dans sa version de 2006. Ils n'ont donc pas eu à justifier auprès de la Commission Européenne leur méthode d'imputation des charges d'infrastructures, ou même à démontrer que leur système de péage reposait sur un quelconque principe d'imputation de tout ou partie de ces charges ;
- ensuite, dans les trois cas cités, les pays ont fait des analyses sur les coûts de leurs infrastructures routières et sur leur imputation aux différents usagers de la route : VL et différents types de PL. Toutefois, il n'y a pas toujours de lien direct évident entre l'étude théorique d'imputation des charges et la définition finale du niveau de péage. Le cas extrême est le cas suisse dans lequel le niveau de péage appliqué découle au final de négociations entre la Suisse et l'Union Européenne ;
- les analyses réalisées ont conduit généralement à étudier séparément l'imputation des charges d'investissement de celle des dépenses d'entretien et exploitation de la route. Pour l'imputation des charges d'investissement, les trois pays ont adopté une démarche patrimoniale en évaluant la dépréciation de leur actif routier à partir d'une certaine date fixée. La valeur initiale de l'actif a quant à elle été évaluée à partir de données comptables plus ou moins détaillées d'un pays à l'autre. La répartition des charges d'entretien et d'exploitation repose sur des critères variables en fonction des différents postes de dépenses : prorata des vkm, des « longueur du véhicule * vkm », des « essieux équivalents* vkm », etc.

Au final, l'analyse des expériences étrangères a conduit à réfléchir à l'opportunité d'adopter une démarche patrimoniale pour construire une méthode d'imputation des charges d'investissement plus simple. Par ailleurs, elles ont conforté la conviction qu'il n'existait pas de méthode simple d'imputation des charges des infrastructures routières et qu'il était nécessaire d'examiner avec attention les différents postes de dépenses liées à l'investissement, l'entretien et l'exploitation des routes pour déterminer la part de responsabilité de chaque type d'usager de la route dans ces dépenses.

1.3 - Démarche retenue

La démarche finalement retenue est dans le prolongement des études réalisées précédemment sur l'imputation des charges des infrastructures routières et des études réalisées à l'étranger sur le même thème.

Elle consiste à examiner les différents postes de dépenses en investissement, entretien et exploitation des routes afin de déterminer pour chacun d'entre eux la part de responsabilité des VL et des différents types de PL dans ces dépenses et d'en déduire, pour chaque type d'usager, des coefficients d'imputation de ces charges. Elle porte sur l'ensemble des routes du Réseau Routier National hors Autoroutes Concédées.

Les études réalisées précédemment ont été réutilisées dès qu'il était possible de le faire. Certaines ont dû être mises à jour, d'autres ont fait l'objet de nouvelles analyses. Voici une liste des principaux rapports réutilisés :

- 2003, Gressier Claude, Bureau Dominique, *Couverture des coûts des infrastructures routières. Analyse par réseaux et par sections types du réseau routier national* ;
- 1999, Brossier Christian, Leuxe André, *Imputation des charges d'infrastructures routières pour l'année 1997* ;
- 1998, Sétra, *Relevé des conclusions du groupe de travail sur l'éventualité d'une autoroute réservée aux seuls véhicules légers – Caractéristiques techniques à adopter (étude pour A51)* ;
- 1998, Quinet Emile, *Principes d'économie des transports*, éd. ECONOMICA ;
- 1992, USAP, *Incidence du trafic PL sur les coûts de construction et d'exploitation des autoroutes*

- 1991, Brossier Christian, Ayoun Philippe, Leuxe André, *Nouvelle étude de l'imputation des coûts d'infrastructure de transports - Affaire 91-105* ;
- 1983, Josse Paul, *Le coût des transports par route pour la collectivité - Affaire 86-60* ;
- 1979, Peyronne Christian, Caroff Gilbert, *Agressivité des diverses silhouettes de poids lourds. Aspects techniques et économiques* ;
- etc.

Pour évaluer l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction et d'entretien des routes, la démarche retenue s'appuie le plus possible sur la doctrine technique de référence. En particulier, les documents suivants ont largement été exploités :

- 2009, Sétra, *Incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées neuves* ;
- 2007, Sétra, *Recueil de statistiques – Construction des ouvrages d'art – année 2005* ;
- 2007, Sétra, *Guide technique – Pollution d'origine routière – Conception des ouvrages de traitement des eaux* ;
- 2007, Sétra, *Note d'information – Calcul prévisionnel de bruit routier – Profils journaliers de trafics sur routes et autoroutes interurbaines* ;
- 2006, Sétra, *Guide technique – Assainissement routier* ;
- 2006, Sétra, *Guide technique – Drainage routier* ;
- 2004, Sétra-Inrets-SNCF, *Guide technique – Géfra – Jumelage des plates-formes ferroviaires et routières ou autoroutières* ;
- 2000, MTETM-DR-Sétra, *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison – Aide à la définition des dispositifs de protection anti-pénétration* ;
- 1998, MTETM-Sétra-LCPC, *Catalogue des structures types de chaussées neuves* ;
- 1998 (et 2006 NF EN 1317-2/A1), AFNOR, *Norme Française et Européenne NF EN 1317-2 – Dispositifs de retenue routiers* ;
- 1998, Sétra, *Guide technique – L'équipement des routes interurbaines* ;
- 1996, Sétra-SNCF-CTICM, *Guide technique – Ponts métalliques et mixtes - résistance à la fatigue - guide de conception et de justification* ;
- 1994, MTETM-Sétra, *Guide technique – Aménagement des routes principales* ;
- 1994, Sétra-LCPC, *Conception et dimensionnement des structures de chaussée* ;
- 1985, Sétra, *Guide de conception – Ponts mixtes acier-béton bipoutres* ;
- 1979 (révisée en 1995), Sétra, *Instruction technique – Surveillance et entretien des ouvrages d'art* ;
- 1977 (actualisation en 1988), Sétra-LCPC, *Guide technique - Structures types de chaussées neuves* ;
- Alizé : www.lcpc.fr/ext/pdf/prod/alize.pdf ou <http://www.itech-soft.com/fr/alize/alizemeca.htm>
- 1971, Sétra, *Cahier des prescriptions communes applicables aux marchés de travaux publics relevant des services de l'équipement. Fasc. n°61 - Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art - Titre II : programmes de charges et épreuves des ponts routiers* ;
- etc.

Toutefois, il faut savoir que, dans la plupart des cas, même si la doctrine technique préconise une certaine méthode pour la prise en compte du trafic PL pour dimensionner une route ou pour l'entretenir, elle ne précise pas pour autant comment il aurait fallu procéder dans un contexte sans PL. En conséquence, pour de nombreux postes de dépenses, il a été nécessaire d'extrapoler cette doctrine et d'en rechercher les fondements. Une attention particulière a été portée au traitement de l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction et d'entretien des chaussées et une étude spécifique a été menée avec la collaboration du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Ce rapport en donne les principaux résultats, nous renvoyons le lecteur au rapport d'étude [2009, Sétra, *Rapport d'études – Incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées neuves*] réalisé à cette occasion pour plus de détails.

En ce qui concerne l'évaluation financière de l'incidence du trafic PL sur les coûts des routes, plusieurs types de données ont été croisés :

- données d'observatoires divers des coûts, notamment de l'Observatoire des coûts sur le Réseau Routier National non concédé créé en 1999 ;
- données d'études de valorisation du patrimoine routier ;
- données issues des lois de finances.

L'utilisation de ces sources et surtout leur croisement peut être dans certains cas discutable. En effet, certaines bases ne sont pas en théorie suffisamment importantes pour être statistiquement fiables. Par ailleurs, certains observatoires sont très récents et ne fournissent des prix qu'à un instant t, sans qu'il soit possible de connaître l'évolution de ces prix dans le temps. Ceci est une limite intrinsèque de cette étude. Toutefois, toutes les études d'imputation des charges d'infrastructure sont limitées par ces problèmes de connaissance et de suivi des coûts. Il a été vérifié que les principaux résultats restaient cohérents avec les autres publications sur des sujets similaires.

Ces différentes sources, qui font toutes l'objet de publications de la part de l'Administration seront citées dans le document.

Chapitre 2

Analyse de l'incidence des PL sur les coûts de construction des routes

La démarche exposée dans le paragraphe précédent est dans un premier temps appliquée à la question de l'incidence du trafic PL sur les coûts de **construction** des infrastructures routières. Les différents postes de dépenses pour la construction des routes sont analysés et les surcoûts engendrés par la présence de PL identifiés puis, dans la mesure du possible, quantifiés afin de déterminer un ensemble de coefficients d'équivalence PL/VL (en distinguant différentes catégories de PL lorsque cela était possible). L'analyse des études précédemment réalisées a permis d'identifier les éléments réutilisables ainsi que ceux qui méritaient des études supplémentaires. Ces études complémentaires sont alors menées en appliquant, autant que faire se peut, la doctrine technique.

Dans plusieurs documents techniques qui s'appliquent pour la conception des infrastructures routières, on peut remarquer que le trafic PL (i.e. de PTAC > 3,5t) est souvent une des données principales du dimensionnement des routes (chaussées, terrassements, caractéristiques géométriques...).

Mais, il n'est pas simple pour autant de relier trafic PL et coût de construction des routes. Tout d'abord, sur certaines dépenses, le coût de construction ne croît pas avec l'augmentation du trafic PL. Dès la mise en circulation du premier PL, il y a surcoût et celui-ci reste stable par la suite. C'est le cas des surcoûts de géométrie par exemple : on construit des voies suffisamment larges pour accueillir des PL, indépendamment de leur nombre. Ensuite, on utilise dans la plupart des études de dimensionnement une procédure globalisée pour caractériser le trafic PL attendu. Par exemple, la doctrine de dimensionnement des routes est établie sur une approche qui ne distingue pas les PL entre eux en fonction de leur taille, leur poids... et il n'est pas possible de déterminer directement la part de responsabilité des différents types de PL dans les coûts de construction alors que l'on sait que ces PL ont des niveaux de responsabilité variables. En conséquence, pour analyser l'incidence de la circulation des PL sur les coûts de construction des routes, il convient de s'écarter de la doctrine technique tout en respectant les fondamentaux. Ceci est la démarche retenue pour l'analyse de certains surcoûts dans le cadre de cette première partie de l'étude.

Les résultats sont présentés dans les paragraphes suivants. Dans un premier temps, les postes de dépenses pour la construction des routes sont analysés de sorte à mettre en évidence les postes pour lesquels il existe un surcoût lié à la présence de PL. Dans un deuxième temps, ces surcoûts sont quantifiés et imputés, lorsque cela est possible, à différents types de PL en fonction de leur niveau de responsabilité dans ces surcoûts. Ceci permet d'obtenir des coefficients d'équivalence entre les différents usagers de la route. Enfin, ces résultats sont synthétisés au niveau de l'ensemble des dépenses de construction des infrastructures routières. 2.1 - Identification des surcoûts de construction liés à la circulation des PL

Pour identifier les surcoûts de construction liés à la circulation des PL, ce travail s'est largement inspiré de l'étude de l'USAP de 1992 sur l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction et d'entretien des autoroutes concédées qui examinait les différents postes de dépenses liés à la construction d'une autoroute. Il s'est également appuyé sur la circulaire n°94-56 du 5 Mai 1994 définissant les modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissement sur le réseau routier national non concédé et sur le guide technique du Sétra de 2001 sur le bilan financier tel que prévu dans cette circulaire qui organisent le suivi des dépenses d'investissement sur le réseau routier national par « élément fonctionnel ». Les dépenses liées à chaque élément fonctionnel sont ensuite enregistrées dans la base de données de l'Observatoire des Coûts routiers sur le RRN non concédé, nommée INFRAcoût, qui fournit pour chaque projet routier recensé par l'Etat depuis 1999 les coûts estimés de celui-ci au cours de son étude puis les coûts observés après réalisation.

Chaque élément fonctionnel a donc été examiné afin de déterminer si la présence d'un trafic de PL pouvait avoir un impact sur son coût. Puis, pour tout surcoût identifié, la possibilité de le quantifier a été évaluée. Cette section présente les conclusions de ces travaux pour chaque élément fonctionnel tel que défini dans la circulaire, à savoir :

- section courante (élément fonctionnel n°1) ;
- échange et rétablissement routier (éléments fonctionnels n°2 et 3) ;
- rétablissement autre que routier (élément fonctionnel n°4) ;
- section courante spécifique : tunnels ou tranchées (élément fonctionnel n°5) ;
- section courante spécifique : viaducs (élément fonctionnel n°6) ;

- murs de soutènement (élément fonctionnel n°7) ;
- aires (élément fonctionnel n°8) ;
- centre d'entretien et d'intervention (élément fonctionnel n°9) ;
- aménagement des voies à rétrocéder (élément fonctionnel n°10) ;
- éléments non ventilés : autres dépenses non directement liées à un élément fonctionnel.

2.1.1 - La section courante

Les dépenses de travaux sur la section courante sont réparties en 5 postes dans la base INFRA coût (dans le bilan financier, on distingue plus de postes mais une partie d'entre eux est basculée dans INFRA coût dans les éléments non ventilés – cf §1.9.) :

- les chaussées ;
- les terrassements et couches de forme ;
- l'assainissement ;
- l'exploitation et la sécurité, c'est-à-dire les équipements ;
- les sujétions spéciales.

Les sujétions spéciales sont des coûts fixes, indépendants de la présence de PL sur la route. En revanche, sur les autres postes, il est possible de déterminer des surcoûts liés à la présence de PL.

Les chaussées

Sur le poste des chaussées, les PL sont responsables de surcoûts considérables. En effet, leur présence guide tous les choix en matière de dimensionnement des structures des chaussées. De plus, ces choix peuvent évoluer en fonction des caractéristiques des PL (charge, nombre d'essieux, silhouette...) que l'on autorise sur la chaussée. Enfin, la présence de PL joue sur le profil en travers retenu pour toute la section courante et donc sur la largeur de chaussée à construire. En conséquence, le poste des chaussées est un poste pour lequel il est possible de chiffrer l'impact de la présence des différents types de PL. Pour ce faire, une étude spécifique a été menée par la Direction d'Etudes Techniques de Construction et d'Entretien (DETCE) du Sétra en liaison avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC). Les principaux résultats de cette étude sont présentés dans la partie suivante ; pour plus de détails techniques, nous renvoyons le lecteur vers le rapport technique sur l'incidence du trafic de PL sur les coûts de construction des chaussées réalisé à cette occasion et publié par le Sétra en avril 2009. On présentera néanmoins ici les hypothèses et les principaux résultats de cette étude.

Les terrassements et couches de forme

Sur le poste terrassements et couches de forme, les PL ont une incidence plus difficile à traiter.

D'abord, la présence de PL guide certains choix sur les couches de forme ; ces choix sont alors liés à ceux réalisés pour le dimensionnement des structures des chaussées et vice-versa. En conséquence, l'étude sur l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées intègre une réflexion sur les choix de couche de forme des terrassements. Elle montre qu'il est raisonnable de considérer que les PL induisent un surcoût sur la couche de forme. Ce surcoût est ensuite compensé par des surcoûts plus limités sur la structure de chaussée ; on optimise donc le coût de l'ensemble « structure de chaussée + couche de forme ».

Ensuite, on pourrait considérer qu'en l'absence de PL, il y aurait moins de contraintes à respecter sur le profil en long sur la section courante, ce qui permettrait de dégager des économies sur le reste des terrassements. Mais, il est difficile de justifier complètement cet argument et donc de chiffrer ces éventuelles économies. En effet, les dépenses liées aux terrassements sur une infrastructure routière dépendent plus largement de l'environnement (milieu de plaine ou milieu vallonné, voire montagneux, qualité des sols, et surtout équilibre entre déblais et remblais) dans lequel la route est construite que du type de trafic que la route accueillera. Par conséquent, trop de paramètres sont à prendre en compte pour pouvoir identifier l'incidence réelle des PL sur les terrassements. Il a donc été décidé de ne pas tenir compte de ces effets. En dehors des économies sur la couche de forme en

l'absence de PL (économies qui tiennent compte de la réduction de profil en travers possible en l'absence de PL), aucune autre économie n'a été chiffrée sur les terrassements.

L'assainissement

Sur le poste assainissement, les PL peuvent avoir une incidence qu'il faut caractériser. Pour traiter ce sujet, il a été décidé d'analyser séparément les infrastructures d'assainissement permettant de lutter contre les effets de pollutions chroniques dues aux trafics VL et PL de celles visant à limiter les conséquences d'une pollution accidentelle due au trafic PL de matières polluantes essentiellement. Les ouvrages à fonction purement hydraulique ont quant à eux été retirés de la réflexion puisqu'ils ne sont pas justifiés par la présence de PL ou de VL sur la route.

Pour limiter la pollution chronique, des bassins sont construits en bordure de route. Ceux-ci sont dimensionnés en fonction du trafic total et surtout en fonction du milieu traversé par la route. Par ailleurs, on préconise actuellement (cf guide technique du Sétra de 2007, *Pollution d'origine routière – Conception des ouvrages de traitement des eaux*) de construire ces bassins avec un volume mort (c'est-à-dire un volume non vidangé situé sous le fil d'eau de l'orifice de fuite) de sorte à piéger les polluants plus denses que l'eau et à retarder la vitesse de propagation de tout autre polluant. Les ouvrages de lutte contre la pollution chronique remplissent donc également une fonction de prévention contre la pollution accidentelle. En conséquence, on peut considérer que la construction de ces volumes morts occasionne un surcoût imputable aux PL seuls.

De plus, en l'absence de PL, le risque moindre de pollution accidentelle permet d'envisager des économies au niveau des zones ou la ressource en eau est définie comme « vulnérable à très fortement vulnérable » définies dans le guide technique du Sétra de 2007, *Pollution d'origine routière – Conception des ouvrages de traitement des eaux*. En effet, il ne serait plus nécessaire d'assurer l'étanchéité des réseaux de collecte des eaux de ruissellement à ces endroits et donc de les imperméabiliser. Les économies à attendre sur ce poste sont évaluées dans la partie suivante. En outre, au niveau des « périmètres de protection rapprochée de captage d'alimentation en eau potable », il est préconisé aujourd'hui d'équiper également les routes de dispositifs de retenue spéciaux pour arrêter les PL en bordure de route. Ces surcoûts sont également à allouer aux PL mais sont comptabilisés dans le poste suivant sur les équipements.

NB : on remarquera que, parmi les surcoûts identifiables sur le poste assainissement, les équipements du type déshuileurs-décanteurs ne sont pas cités alors qu'ils apparaissaient dans des études précédentes (étude USAP). En fait, ce type d'équipement n'est plus recommandé aujourd'hui, il a donc été décidé de ne pas intégrer ces surcoûts qui ne sont plus constatés sur les nouveaux projets.

Les équipements

Le choix des équipements, et en particulier des équipements de retenue, dépend fortement de la présence de PL sur les routes. Aujourd'hui, la doctrine technique préconise l'utilisation de différents dispositifs de retenue pour les ouvrages d'art, les bordures de route en traversée de zone très fortement vulnérable (comme évoqué plus haut), les bordures de route le long d'autres infrastructures de transport (lorsqu'une autoroute longe une voie ferrée par exemple) et le terre-plein central séparant les deux sens de circulation. Chaque type de dispositif de retenue est caractérisé par ses performances, définies par la norme NF EN 1317-2. Celle-ci classe ces dispositifs en plusieurs catégories ; nous retiendrons ici en simplifiant volontairement les conditions de fonctionnement de chaque type de dispositif qu'il existe des dispositifs de « retenue normale » (N1, N2) qui retiennent les VL, des dispositifs de « retenue élevée » (H1, H2, H3) qui retiennent les PL non articulés et des dispositifs de « retenue très élevée » (H4a, H4b) qui retiennent les PL articulés. En France, la réglementation des dispositifs de retenue à mettre en place sur les infrastructures routières a récemment évolué de sorte à préconiser pour chaque situation, non pas un type de produit comme c'était précédemment le cas (cf guide *Equipement des Routes Interurbaines* du Sétra de 1998), mais un type de dispositif en fonction de ses performances (cf réglementation nationale destinée à accompagner le marquage CE, comme l'arrêté du 6 mars 2008 portant application à certains dispositifs de retenue routiers du décret n°92-647 du 8 juillet 1992 modifié concernant l'aptitude à l'usage de la construction). Le choix de ces équipements est guidé par le trafic total et par le trafic PL mais aussi par l'environnement de la route (dénivelé entre les deux sens de circulation, largeur du terre-plein central car le dispositif de retenue nécessite un certain espace pour fonctionner correctement,...).

Pour choisir un dispositif de retenue, il convient de respecter les recommandations en matière de performance sous la contrainte imposée par l'environnement (en particulier vis-à-vis de l'espace de fonctionnement nécessaire au dispositif) mais aussi de chercher à minimiser les coûts. En général, le coût dépend surtout du type de produit et non de ses performances. Ainsi, un dispositif de retenue métallique de type H2 offrant de meilleures performances qu'un autre dispositif métallique de type H1 coûtera légèrement plus cher mais il restera à un coût bien moins élevé (de l'ordre de deux fois moins cher aujourd'hui) qu'un dispositif de retenue en béton de même type H2. Par ailleurs, le coût de l'entretien des différents dispositifs est également un paramètre important du choix, les dispositifs en béton nécessitant moins d'entretien que les métalliques. Enfin, il existe des cas dans lesquels le choix d'un dispositif plus cher mais nécessitant moins d'espace de fonctionnement permet d'économiser globalement sur les dépenses en acquisition foncière.

Finalement, étant donné tous ces paramètres, il est difficile de déterminer quels sont les surcoûts liés à la présence de PL sur les équipements. En outre, il s'agit d'un poste de dépenses assez faible, de 1,2 % à 3 % des coûts kilométriques d'après la base INFRAcoût.

En conséquence, il est décidé de ne pas considérer de surcoût lié à la présence de PL sur ce poste. On ne retiendra pas non plus les surcoûts liés à la mise en place de dispositifs de retenue adaptés aux PL à proximité des points de captage d'alimentation en eau (cf § assainissement) ou ceux liés à l'adaptation éventuelle de la signalisation pour les PL.

2.1.2 - Échanges et rétablissements routiers

Sur les échanges et rétablissements routiers, la présence de PL entraîne des surcoûts de deux types.

D'abord, en l'absence de PL, on pourrait envisager un dimensionnement des chaussées plus léger et une réduction du profil en travers des infrastructures du même type que ceux proposés pour la section courante. Cette question du dimensionnement des chaussées a fait l'objet d'une attention particulière lors de cette étude et les principaux résultats obtenus sont présentés dans la partie sur la quantification de l'incidence du trafic PL sur les coûts des chaussées. Ces éléments restent valables dans le cas des chaussées au niveau des rétablissements routiers. Toutefois, il n'est pas possible de suivre facilement ces dépenses en utilisant la base de données dont on dispose. Ces effets seront donc négligés.

Ensuite, en l'absence de PL, il serait possible de réduire les ouvrages d'art sur ces rétablissements. Le Centre des Techniques d'Ouvrages d'art (CTOA) du Sétra a produit pour cette étude une note de synthèse (reportée en annexe B) sur l'incidence des PL sur le dimensionnement des ouvrages d'art. Celle-ci décrit cette incidence en détaillant l'impact des PL sur la géométrie, la capacité portante et la fatigue des ouvrages d'art. Les principaux résultats de ce travail sont présentés dans la partie sur la quantification de l'incidence du trafic PL sur les coûts des routes dans le paragraphe réservé aux ouvrages d'art. Le paragraphe 1.5. sur les viaducs ci-dessous introduit quant à lui les difficultés rencontrées pour quantifier cette incidence des PL sur les coûts des ouvrages d'art.

Finalement, l'élément fonctionnel « rétablissement routier avec ou sans échange » est un poste de dépenses sur lequel on peut chiffrer une incidence des PL via les contraintes qu'ils imposent sur les ouvrages d'art.

2.1.3 - Rétablissements non routiers

On considère que les PL n'ont pas d'incidence sur les coûts de construction des rétablissements non routiers.

2.1.4 - Section courante spécifique : tunnels et tranchées

Les ouvrages d'art de type tunnels ou tranchées sont des ouvrages exceptionnels : chaque ouvrage est unique et, même si l'on était capable pour un ouvrage donné de chiffrer un surcoût lié à la présence de PL, il ne serait pas possible de généraliser le résultat obtenu. En conséquence, on a considéré que le trafic de PL n'induisait pas de surcoûts spécifiques.

2.1.5 - Section courante spécifique : viaducs

Les ouvrages d'art de type viaducs sont dimensionnés (comme les ouvrages courants mentionnés dans les paragraphes sur les rétablissements et échanges) pour résister aux passages répétés de PL et certains d'entre eux pour supporter le passage du Porte-Engin-Blindé (PEB) du char Leclerc, c'est-à-dire un véhicule de charge bien supérieure à celle des PL aujourd'hui.

Alors que pour les chaussées, le facteur dimensionnant est le critère de fatigue liée au passage répété de PL, pour les viaducs, le facteur dimensionnant est la charge maximale que devra supporter l'ouvrage (cf. étude du CTOA en annexe 2). Toutefois, si on ne tient pas compte du dimensionnement pour supporter le PEB, il est possible de mettre en évidence un surcoût lié à la prise en compte des PL de plus de 26t par rapport à un viaduc qui serait construit pour des véhicules de moins de 26t uniquement en se référant à la doctrine technique (cf. fascicule 61 du titre II du cahier des prescriptions communes de 1971). De plus, le passage des PL de plus de 26t obligent pour certains ponts à prendre en compte des phénomènes de fatigue que l'on peut leur imputer. Enfin, dans une situation sans PL, on pourrait mettre en évidence certaines réductions géométriques dont on peut tenir compte. Le détail de l'argumentaire sur ces trois points est donné dans l'annexe B.

En conséquence, il a été décidé de présenter la méthode d'estimation des surcoûts sur un pont dimensionné pour des PL par rapport à une situation sans PL, en l'absence et en présence de PEB. Celle-ci fait l'objet de la partie sur la quantification des surcoûts et l'établissement des coefficients d'équivalence pour les ouvrages d'art.

2.1.6 - Murs de soutènement

Les murs de soutènement représentent des dépenses très faibles, moins de 1 % des dépenses recensées par la base de l'Observatoire des coûts. Par ailleurs, il s'agit d'un élément fonctionnel sur lequel il n'existe pas a priori d'incidence des PL au niveau des coûts. En conséquence, ce poste de dépenses n'est pas développé par la suite.

2.1.7 - Aires

Les besoins en stationnement des VL et des PL sont très différents : tandis que les VL ont recours ponctuellement et massivement au stationnement (périodes de pointe telles que les départs et retours de vacances), les PL utilisent régulièrement les aires de stationnement qui leur sont réservées, en particulier la nuit. De plus, les infrastructures à prévoir sont également différentes : pour accueillir des VL, on peut imaginer des structures de chaussées très légères tandis que pour les PL, il faut construire une structure de chaussée plus solide. Ainsi, de même que les chaussées en section courante, les chaussées sur les aires de stationnement sont dimensionnées de sorte à pouvoir accueillir les PL avec la même doctrine technique.

Sur le réseau routier français, on trouve une offre de stationnement pour VL et une autre pour PL même si certaines aires peuvent être communes. Il faudrait en toute rigueur imputer les dépenses de construction des aires PL aux PL et des aires VL aux VL, puis séparer les dépenses communes entre les différents types d'usagers. Ne disposant pas de données suffisamment détaillées sur les différents coûts des aires de stationnement, il a été décidé d'utiliser une approche du problème simplifiée. On considère donc que l'offre de stationnement est commune et on estime, que les surcoûts sur le stationnement proviennent uniquement des chaussées. Ces surcoûts sont imputés directement aux PL en reprenant l'étude sur les chaussées sur la section courante. Les dépenses fixes, présentes en l'absence de PL, sont imputées au prorata de la surface occupée par chaque type de véhicule en stationnement. Les données détaillées sur les aires proviennent d'une base de données du Sétra sur les coûts observés de réalisation des aires de stationnement (il s'agit des coûts hors acquisitions foncières).

2.1.8 - Centres d'entretien et d'intervention

Les dépenses liées à la construction de centres d'entretien et d'intervention ne dépendent pas du trafic de PL.

2.1.9 - Aménagement des voies à rétrocéder

Ce poste de dépenses est indépendant de la structure du trafic PL ou VL.

2.1.10 - Éléments non ventilés

Ce dernier thème ne correspond pas à un élément fonctionnel identifié par la circulaire de 1994 mais il représente un poste de dépenses réel et non négligeable (environ 20 % des dépenses kilométriques enregistrées dans la base de données INFRA coût correspondent à ces éléments non ventilés). Ils rassemblent les études, les acquisitions foncières, les dégagements d'emprise, les opérations visant à minimiser l'impact de la route sur son environnement et la surveillance des travaux.

Les études, les acquisitions foncières, les dégagements d'emprise et la surveillance des travaux sont des dépenses sur lesquelles on considèrera que les PL n'ont pas d'incidence.

Finalement, seul le poste « environnement » connaît des surcoûts imputables à la présence de PL. Ce poste recense quatre types de dépenses liées à différents types d'aménagements :

- aménagements « paysage » ;
- aménagements « bruit » ;
- aménagements « eau » ;
- aménagements « air ».

Parmi ces quatre postes, les aménagements phoniques peuvent faire l'objet d'une imputation différenciée entre VL et PL sur la base des niveaux de bruits causés par chaque type de véhicule. Toutefois, ces dépenses sont suivies de façon globale et il n'est donc pas possible d'identifier simplement les dépenses pour le bruit au sein de l'ensemble des dépenses pour l'environnement.

2.1.11 - Conclusion

Finalement, les postes de dépenses identifiés sur lesquels le trafic PL a une incidence quantifiable et non négligeable sont :

- les chaussées : on traitera conjointement les surcoûts liés aux épaisseurs de structure et à la réduction du profil en travers des voies ;
- les terrassements : l'étude de l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées a montré qu'on pouvait avoir un surcoût lié au trafic de PL sur les couches de forme. Ce surcoût est quantifié par la suite de manière cohérente avec les choix effectués sur les chaussées en optimisant le coût de l'ensemble « structure de chaussée + couche de forme » ;
- l'assainissement : on traitera séparément l'impact sur les infrastructures de limitation de la pollution chronique de celui sur les infrastructures de lutte contre la pollution accidentelle ;
- les ouvrages d'art (sur les viaducs, les échanges et les rétablissements routiers) ;
- les aires de stationnement ;
- les dépenses pour l'environnement : aménagements pour limiter les effets du bruit.

2.2 - Quantification de la responsabilité des PL dans ces surcoûts

Les surcoûts identifiés précédemment pour lesquels il est possible de mesurer l'incidence de la présence des PL, voire l'incidence des différents types de PL sur les coûts de construction sont repris dans cette section qui expose les éléments permettant de déterminer, pour chaque poste, la responsabilité des PL sur les coûts globaux et établit des clés de répartition de ces coûts sur les différents usagers de la route : VL, PL, voire différents types de PL.

Lors de l'examen de chaque poste, les surcoûts sur l'investissement liés à la prise en compte des PL dans la conception de la route sont évalués, ainsi que les coûts fixes de construction, présents quels que soient les usagers de la route. Ensuite ces coûts sont répartis entre PL et VL, et si possible entre différents types de PL, en fonction de la responsabilité de chaque usager dans ces coûts (évaluée par les surcoûts) et au prorata des trafics de chaque classe d'usagers. C'est ainsi que sont calculés les coefficients d'équivalence PL/VL. Le détail de ce calcul est donné par la suite dans le cas des chaussées. De plus, l'annexe C de ce rapport présente les avantages et inconvénients de la méthode d'imputation retenue, la comparant à d'autres méthodes référencées dans la littérature économique sur le sujet.

Pour la définition des différents types ou classes de PL, le travail sur les chaussées a guidé la réflexion car il s'agit du principal poste de dépenses sur lequel il est possible de différencier les coûts liés aux PL des coûts liés aux VL et parce que la théorie sur laquelle s'appuie la doctrine technique offre un cadre d'analyse propice à la définition d'indicateurs de responsabilité des différents types de PL dans les coûts. En conséquence, la définition des classes de PL considérées sera présentée à l'examen du poste des chaussées.

2.2.1 - Structure des chaussées

La doctrine technique française de dimensionnement des chaussées préconise habituellement d'utiliser une procédure globalisée pour caractériser le trafic PL attendu pendant la durée de vie de la chaussée puis de déduire de ce trafic la structure de chaussée la plus adaptée à construire. En effet, les chaussées sont dimensionnées en fatigue pour résister à un certain nombre de « PL moyens », caractérisés par une agressivité moyenne sur la chaussée. Une telle pratique est essentiellement due au fait que l'on ne connaît généralement pas la composition exacte du trafic PL et que les calculs directs nécessitent l'intervention d'experts.

Dans le cas présent, on a voulu au contraire partir des caractéristiques exactes des PL en circulation et de la composition fine du trafic de PL pour pouvoir déterminer la responsabilité des différents types de PL dans le dimensionnement des structures de chaussées.

Ce travail s'est déroulé sur deux étapes :

- **calcul de l'agressivité des différents PL** sans passer par la formulation globalisée des catalogues de dimensionnement. Ceci a permis de caractériser chaque silhouette de PL puis de répartir les différentes silhouettes en 3 classes d'agressivité croissante ;
- **dimensionnement d'une chaussée fictive**, fonction des PL en circulation sur celle-ci, en s'appuyant directement sur la théorie à la source des techniques de dimensionnement actuelles.

Pour ce faire, le logiciel Alizé du LCPC dans sa version la plus complète a été mis à disposition du Sétra pour cette étude.

Pour mesurer l'impact des différentes classes de PL (constituées en fonction du calcul d'agressivité) sur le dimensionnement des chaussées, l'exercice de dimensionnement a été répété en autorisant successivement sur la chaussée fictive à construire, la circulation des différentes classes de PL.

4 scénarii de dimensionnement ont été ainsi construits :

- scénario 0 : on dimensionne une chaussée sur laquelle ne circulent que des VL à l'exception de quelques « petits » PL (travaux, sécurité) ;
- scénario 1 : on dimensionne une chaussée sur laquelle circulent les PL de la classe 1 définie comme la classe regroupant les PL les moins agressifs. Ce scénario 1 a par la suite été doublé par un scénario 1' qui fait entrer dans la classe 1 des PL un peu plus agressifs ;
- scénario 3 : on dimensionne une chaussée sur laquelle circulent les PL de toutes les classes.

Cet exercice a été fait pour les principaux types de structures de chaussées retenus lors de la construction du RRN :

- chaussées bitumineuses (38 % du RRN d'après une exploitation de la base SICRE) ;
- chaussées semi-rigides (41 % du RRN d'après une exploitation de la base SICRE).

Les autres configurations techniques n'ont pas été étudiées pour simplifier. Le profil en travers type retenu pour l'étude et celui d'une 2*2voies (environ 60 % du RRN aujourd'hui) ; les résultats pourraient être extrapolés pour un autre profil que celui-ci.

Dans tous les scénarios, les éléments liés à l'environnement de l'infrastructure (données climatiques par exemple) ont été fixés à l'identique. En revanche, l'étude sur les chaussées a mené à considérer des hypothèses sur la partie supérieure des terrassements (couche de forme essentiellement) différentes entre le scénario 0 et les scénarios 1, 2 et 3 avec PL. Ces hypothèses seront justifiées par la suite.

Le volume global de PL autorisés sur la chaussée, quel que soit le scénario considéré (à l'exception du scénario 0 bien entendu) est égal à 12 % du trafic tous véhicules. Cette part est la moyenne observée sur le RRN (hors autoroutes concédées) lors du sondage de circulation de 2004-2005. De plus, pour les exercices de dimensionnement, on considère un trafic fixe pour tous les scénarios et égal à 2 500 PL/jour/sens sur la voie la plus chargée. Ensuite, en fonction du scénario considéré, la part relative des différents types de PL autorisés varie. Pour le scénario 3, on retrouve la répartition des types réellement observée au niveau des stations SATL et SIREDO sur le RRN. Pour les scénarios 1 et 2, les parts relatives des différentes silhouettes autorisées restent dans les mêmes proportions.

Nous renvoyons le lecteur au rapport d'étude sur l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées neuves [2009, Sétra, *Rapport d'études – Incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées neuves*] réalisé pendant ces expériences pour plus de détails sur le paramétrage du logiciel et les résultats.

Nous reportons ici les principaux résultats obtenus :

- définition des classes de véhicules en fonction de l'agressivité des PL ;
- incidence de chaque classe de PL sur le dimensionnement des structures de chaussées traduite en coûts par l'intermédiaire de ratios issus de l'observatoire des coûts des chaussées.

Les classes de PL ont été définies comme le présente le tableau suivant. Dans ce tableau, les agressivités des différents PL ont été calculées avec le logiciel Alizé pour des chaussées semi-rigides ou bitumineuses. Les calculs ont tenu compte de la charge, du nombre d'essieux, de l'écartement entre essieux, du type d'essieu (simple, *tandem* ou *tridem*), du type de roue (simple ou jumelée) afin de représenter le mieux possible l'agressivité de chaque silhouette. Ces calculs ont été réalisés au Sétra et validés par le LCPC.

Silhouette	Catégorie SATL	Part du trafic	PTAC (t)	Agressivité (bitumineuse)		Agressivité (semi-rigide)		Classe PL
				Relative essieu 13t	Relative	Relative essieu 13t	Relative	
	PL1	17 %	7.5	0.01	1	1.08 e-5	1	1
	PL1	6 %	12	0.10	10	0.32 e-2	296	1
	PL1	5.3 %	19	0.74	74	0.36	33333	2
	PL2	2.7 %	26	0.55	55	0.34	31481	2
	PL3	1.3 %	26	0.49	49	0.05	4630	2
	PL4	11.2 %	38	0.99	99	0.41	37963	3
	PL5	48.3 %	40	1.80	180	0.66	61111	3
	PL6	1.2 %	40	0.56	56	0.18	16667	2
	PL7	1.3 %	38	0.93	93	0.17	15741	3
	PL8	1 %	40	0.62	62	0.10	9259	2
	PL9	0.6 %	40	0.49	49	0.09	8333	2
	PL10	3.1 %	40	0.20	20	0.02	1852	2
Autres PL	PL11	1 %	40	0.8 ^(c)	80	1.2 ^(c)	111111	3

Tableau 4 : définition des classes de PL en fonction de leur agressivité

Dans le tableau précédent, les classes PL sont déterminées exclusivement en fonction du critère d'agressivité. Une variante de ces classes a par la suite été définie de sorte à construire des classes en fonction d'un seul critère facilement identifiable : le PTAC ou PTRAC. Cette variante conserve la classe 1 mais modifie les classes 2 et 3 envoyant dans la classe 3 les PL6, PL8, PL9 et PL10. Elle conduit à construire des classes 2bis et 3bis ainsi qu'un scénario 2bis dans lequel ces PL sont retirés de la classe 2 ; les scénarios 1 et 3 restent identiques. Bien sûr, il serait possible de faire encore évoluer la définition des classes de PL mais au risque de s'éloigner de plus en plus d'une classification basée sur un critère objectif mesurant la responsabilité de chaque type de PL dans les coûts de construction des chaussées (principal poste permettant de discriminer les PL entre eux). Il faut noter que les modifications de classes effectuées trouveront par la suite une justification dans les considérations sur l'incidence des différents types de PL sur le dimensionnement des ouvrages d'art. Enfin, on remarquera que ces modifications peuvent être considérées comme marginales, puisqu'elles ne portent que sur des PL peu représentés dans la part observée sur les routes en France.

Puis, pour chaque scénario, une structure de chaussée a été dimensionnée à l'aide du logiciel Alizé. Le détail des structures obtenues est donné dans le rapport d'étude sur l'incidence du trafic PL sur le dimensionnement des chaussées [2009, Sétra, *Rapport d'études – Incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées neuves*]. Enfin, ces structures ont été traduites en coût, pour un profil en travers à 2*2voies, avec un profil en travers réduit dans le scénario 0 sans PL et un profil en travers standard dans tous les autres scénarios.

Les résultats sont les suivants :

- dans le scénario 0 où quasiment aucun PL ne circule sur la chaussée, le coût est estimé à 185,64 k€HT/km. Ce dimensionnement a fait l'objet d'une attention particulière car ce type de structure est complètement atypique puisqu'on ne construit pas en pratique de chaussée supposée ne pas accueillir de PL. La structure finalement retenue a été validée par le LRPC de Strasbourg. Elle tient compte d'une réduction du profil en travers de la route : chaque voie est réduite à une largeur de 3m, les BAU (Bandes d'Arrêt d'Urgence) sont réduites à 2m de large et sont partiellement revêtues et le TPC (Terre-Plein Central) est réduit à 1,5m de large ;
- dans les scénarios où les PL sont autorisés, les coûts varient fortement en fonction du type de PL autorisés alors que le volume global de PL reste constant. Le profil en travers reste également constant ; il s'agit de celui préconisé par l'ICTAAL avec des voies de 3,5m, un TPC de 3m et des BAU de 3m chacune. Le tableau

suisant rapporte les résultats obtenus pour les deux types de chaussées envisagés (souples ou semi-rigides). Il donne les prix de chaussées pour un choix de couche de forme indiqué entre parenthèses qui varie en fonction du scénario considéré (plate-forme de type PF2 ou PF3). Ce choix sur la couche de forme est expliqué dans l'étude sur l'incidence du trafic de PL sur les coûts de construction des chaussées et terrassements. Il faut savoir qu'il s'agit d'un choix réalisé a posteriori (l'étude des coûts a été réalisée initialement pour les deux types de plates-formes PF2 et PF3) qui minimise les coûts de construction de l'ensemble « couche de forme et structure de chaussée » (il augmente les coûts de couche de forme – cf surcoût de terrassement chiffré en fin de paragraphe – mais diminue les coûts sur les chaussées) tout en garantissant des bonnes caractéristiques de résistance au gel. Ce choix de PF2 ou PF3 a été retenu uniquement pour les scénarios avec PL car dans le cas d'une chaussée sans PL, le coût global « couche de forme et structure de chaussée » est minimal sur une plate-forme de type PF1. En conséquence, les choix faits sur les chaussées se répercutent sur les terrassements, ce qui est pris en compte dans le paragraphe suivant.

	Coûts des chaussées bitumineuses (k€HT / km)	Coûts des chaussées semi-rigides (k€HT / km)
Scénario 1	(sur PF2) 558.14	(sur PF2) 515.55
Scénario 2	(sur PF3) 629.56	(sur PF3) 590.14
Scénario 2bis	(sur PF2) 723.67	(sur PF3) 590.14
Scénario 3	(sur PF3) 806.13	(sur PF3) 789.79

Tableau 5 : coût des chaussées bitumineuses et semi-rigides dans les différents scénarios

Les coûts fournis ici sont calculés à partir des coûts des techniques de chaussées recensés via l'enquête « suivi des coûts techniques » réalisée chaque année depuis 1992 par le Réseau Scientifique et Technique du Sétra. Les coûts présentés ici datent de 2006, sont en €courants HT, il s'agit du coût des matériaux hors mise en œuvre. On remarquera que la différence des coûts est assez importante : une chaussée sans PL coûte plus de 4 fois moins cher qu'une chaussée supposée accueillir le trafic actuellement observé en France.

Il faut ensuite imputer les surcoûts observés d'un scénario à l'autre aux différents usagers : VL, PL des classes 1, 2 (ou 2bis) et 3. Ce problème n'a pas de solution unique et simple (Quinet, 1998). On propose ici de procéder comme suit :

- les surcoûts observés entre le scénario 2 et le scénario 3 sont imputés aux PL de la classe 3 uniquement ;
- les surcoûts observés entre le scénario 1 et le scénario 2 sont imputés aux PL des classes 2 et 3 au prorata des parts relatives de chaque classe dans le trafic observé sur les stations SATL (qui ont servi auparavant à construire les populations de chaque scénario) ;
- les surcoûts observés entre le scénario 0 et le scénario 1 sont imputés aux PL des 3 classes au prorata des parts relatives de chaque classe dans le trafic observé ;
- les coûts fixes calculés dans le scénario 0 sont répartis entre tous les usagers, PL et VL au prorata des parts relatives de chaque usager dans le trafic observé. On utilise pour répartir ces dépenses un coefficient d'équivalence PL/VL de 2,5 afin de tenir compte de l'encombrement relatif des deux types de véhicules. La valeur de ce coefficient est celle utilisée dans les courbes temps-débit par défaut ;
- pour les trafics VL et PL, on considère que le trafic PL est de 2500PL/jour/sens afin de garder les mêmes hypothèses que pour le calcul des coûts de construction des chaussées. Chaque classe de PL est représentée avec une part du trafic PL correspondant à celle observée sur le RRN (cf tableau 4). Le trafic VL considéré est choisi de sorte à ce que la part des PL dans le trafic global soit de 12 % puisqu'il s'agit de la part réellement observée sur le RRN d'après le dernier sondage de circulation de 2004. Cette méthode d'imputation des coûts communs à chaque classe au prorata des parts de trafic (ou des vkm si on raisonne sur des coûts globaux) respecte la directive Eurovignette qui assure que « les péages moyens pondérés [soient] liés aux coûts de construction et aux coûts d'exploitation, d'entretien et de développement du réseau d'infrastructure concerné ».

En implémentant cette méthode sur le poste des chaussées exclusivement, on obtient les coefficients suivants :

Type de chaussée	VL	Classe 1 PL	Classe 2 PL	Classe 3 PL
Bitumineuse	1	22	27	42
Semi-rigide	1	20	25	42

Tableau 6 : coefficients d'imputation des charges de construction des chaussées (scénario 2)

Type de chaussée	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Bitumineuse	1	22	34	41
Semi-rigide	1	20	25	42

Tableau 7 : coefficients d'imputation des charges de construction des chaussées (scénario 2bis)

On remarque que le changement de scénario 2 à 2bis a des conséquences importantes sur le calcul du coefficient d'équivalence de la classe 2 ou 2bis dans le cas de la chaussée bitumineuse. Ceci est dû au changement de choix de plate-forme entre les deux cas, qui entraîne une discontinuité importante dans le choix technologique. Cet écart sera compensé par la suite à l'inverse dans l'analyse sur les terrassements.

En revanche, le passage de la classe 2 à la classe 2bis ne modifie pas les résultats proposés dans le cas d'une chaussée semi-rigide. Ceci est lié au fait que les PL concernés par le changement de catégorie sont peu nombreux ; quand il n'y pas de discontinuité forte dans le choix technique, leur incidence est négligeable.

2.2.2 - Terrassements (couche de forme)

Nous avons précisé dans la partie précédente sur les structures de chaussées qu'on ne considérait dans les scénarios avec PL que les coûts des chaussées construites sur des plates-formes de type PF2 ou PF3 parce que ces ensembles « chaussée + couche de forme » étaient moins chers. On notera qu'ils présentent également des meilleures capacités de résistance au gel qu'un choix PF1.

Dans le cas d'une chaussée sans PL, il ne serait pas nécessaire d'avoir une plate-forme de ces types. En effet, une plate-forme de type PF1 serait suffisante. Il existe donc un surcoût sur la couche de forme qu'il faut imputer aux PL. Ceci est d'autant plus vrai que l'on fait ce choix de changement de plate-forme pour économiser sur les coûts globaux.

Le rapport sur la responsabilité des PL dans les coûts de construction des structures de chaussées neuves chiffre les surcoûts de passage de PF1 à PF2 ou PF3. En moyenne, on estime que le surcoût de PF1 à PF2 est de 161.88K€HT/km et que celui de PF1 à PF3 est de 263.75 k€HT/km. Le calcul de ces surcoûts tient compte d'une réduction du profil en travers dans le scénario sans PL. Chaque coût est une moyenne sur les coûts recensés dans la synthèse nationale des prix de terrassement de 2006 établie à partir de marchés de travaux.

En croisant les données de INFRAcoût et celles de l'observatoire sur les prix des terrassements, le surcoût de passage de PF1 à PF3 représente 27 % des coûts de terrassements sur les tracés neufs. En considérant une part de PL de 12 % dans l'ensemble des véhicules (en vkm d'après le sondage de circulation de 2004), on aboutit aux coefficients d'équivalence PL/VL recensés dans le tableau suivant :

Chaussée \ Usager	VL	Classe 1 PL	Classe 2 PL	Classe 3 PL
Bitumineuse ou semi-rigide	1	3.9	6.8	6.8
Chaussée \ Usager	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Bitumineuse	1	3.9	3.9	7.5
Semi-rigide	1	3.9	6.8	6.8

Tableau 8 : coefficients d'imputation des charges de construction des terrassements

Les choix effectués précédemment pour dimensionner les couches de chaussées se répercutent sur les coûts pour les terrassements. En particulier, sur la chaussée bitumineuse dans le cas du scénario 2bis, les coefficients de la classe 2bis varient fortement dans le sens opposé à la variation observée sur les chaussées. Ceci est logique puisque les choix reportés ici résultent d'une optimisation sur les coûts globaux de couche de forme et de structure de chaussée.

Si on reporte les incidences des différents choix dans un tableau qui tienne compte à la fois du poste chaussées et du poste terrassements (pour la répartition des dépenses entre chaussées et terrassements, cf § 2.7.1.), on arrive au résultat suivant :

Chaussée \ Usager	VL	Classe 1 PL	Classe 2 PL	Classe 3 PL
Semi-rigide	1	7	10,3	13,6
Bitumineuse	1	7,4	10,6	13,5
Chaussée \ Usager	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Bitumineuse	1	7,4	9,6	13,8

Tableau 9 : coefficients d'imputation des charges de chaussées et terrassements

Finalement, le tableau précédent montre que les différents choix techniques, issus d'une optimisation des coûts globaux sur les chaussées et les terrassements conduisent à des coefficients d'équivalence cohérents et du même ordre de grandeur. Par la suite, on ne retiendra que les coefficients d'équivalence obtenus avec le scénario 2bis.

2.2.3 - Assainissement

Sur le poste assainissement, il a finalement été décidé de chiffrer :

- les économies qui seraient réalisables sur l'imperméabilisation des chaussées en l'absence de PL et qui correspondent aux économies sur les aménagements de prévention de la pollution accidentelle ;
- les économies qui pourraient être faites en l'absence de PL sur les bassins d'assainissement en bordure de route en leur retirant leur volume mort et qui correspondent aux économies sur ouvrages d'assainissement.

Pour chiffrer ces économies, la base INFRAcoût a été utilisée pour les volumes globaux de dépenses sur le poste assainissement. Puis, la Direction d'Etudes Environnement avec l'aide de son réseau en Cété, a fourni des éléments détaillés de prix et de niveaux d'équipement des infrastructures en s'appuyant notamment sur des bilans LOTI. Ces éléments de prix sont cohérents avec la note d'information n°88 du Sétra de janvier 2009 *Eléments de coût des mesures d'insertion environnementales – Exemple de l'Est de la France*.

Aménagements linéaires de limitation des effets de pollutions accidentelles

D'après les exploitations des bilans LOTI, la part de linéaire de route faisant l'objet d'une imperméabilisation des réseaux de collecte des eaux de ruissellement est d'environ 20 %. On considère par ailleurs que le coût moyen d'une imperméabilisation par argile ou par géomembrane est d'environ 80€HT (en 2006) du mètre linéaire. On estime donc que les PL sont responsables de surcoûts de 16 k€HT par km.

Ouvrages d'assainissement

D'après les exploitations des bilans LOTI, le nombre moyen de bassins ayant une vocation (entre autres) de traitement de la pollution accidentelle ou chronique est de 0,6 par km. Tous les bassins à simple vocation hydraulique ont été écartés du chiffrage. Le coût moyen d'un bassin issu des mêmes exploitations est estimé à 136 k€HT.

Le prix du bassin est ensuite estimé en fonction de sa cubature (avec une règle de calcul présentée dans la note d'information n°88 sur le coût des mesures d'insertion environnementales). On estime que les PL sont responsables du surcoût lié à l'augmentation de la cubature du bassin pour avoir un volume mort qui ne sert qu'à la rétention de la pollution accidentelle, et accessoirement chronique. Ce volume mort représente théoriquement au minimum 30 % du volume total, on se place à ce plancher pour cette étude.

Enfin, on considère que ce surcoût de 25 k€/km HT est entièrement imputable aux PL.

Sur le poste assainissement, on estime donc que 41 k€/km HT sont imputables aux PL seuls tandis que le reste des dépenses est imputable aux PL et aux VL en utilisant toujours le coefficient de 2,5 pour représenter l'utilisation relative de la voirie des PL par rapport aux VL.

Ces 41 k€/km HT représentent environ 12 % des dépenses d'assainissement d'après la base INFRAcoût.

En reprenant les hypothèses de trafic utilisées précédemment (les PL représentent 12 % du trafic), on obtient un coefficient d'équivalence de 3,8 entre PL et VL sur le poste global assainissement.

Remarques : sur le sujet des bassins, l'estimation mériterait d'être affinée au regard de la complexité du sujet. On pourrait par exemple également tenir compte d'un coût fixe lié à la construction d'un dispositif de voile siphonide ayant pour unique but le traitement des hydrocarbures flottants issus de la pollution accidentelle et chronique ou encore de l'imperméabilisation des bassins en raison du risque de pollution accidentelle. Ceci viendrait augmenter la part de responsabilité des PL dans les coûts globaux d'assainissement. A l'inverse, la relation liant coût et cubature du bassin peut paraître simpliste et être en défaveur des PL. Les résultats ici fournis correspondent donc à un compromis issu de ces différentes considérations.

2.2.4 - Ouvrages d'art de type viaduc

L'approche proposée par le CTOA fournie en annexe donne une estimation de l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction des ouvrages d'art de type viaducs pour des ouvrages courants comme pour des ouvrages non courants. Cette approche considère l'incidence des PL en analysant l'influence de ceux-ci sur la géométrie des ouvrages, sur leur capacité portante et sur leur résistance à la fatigue. D'après cette analyse, ce sont les deux premiers impacts qui ont un effet majeur. Ils permettent d'identifier des surcoûts entre une situation sans PL et une situation avec PL ainsi que des surcoûts liés au passage de PL de plus de 26t (ou à plus de 3 essieux).

Finalement, en s'inspirant de la note du CTOA, on considère qu'en l'absence de PL de plus de 26t, on pourrait économiser 7 % des coûts sur les ouvrages d'art (du fait de l'influence de la prise en compte de ce type de PL sur la capacité portante de l'ouvrage) et en l'absence complète de PL (l'ouvrage supporterait tout de même le passage de véhicules d'entretien, sécurité), on économiserait 15 % de ce coût (en ajoutant aux économies liées à une capacité portante moindre, des économies sur la géométrie de l'ouvrage).

Les véhicules de moins de 26t sont tous dans les classes 1 et 2bis définies précédemment par l'étude sur les chaussées. Ce constat incite à reprendre ces classes définies à partir de l'analyse sur les chaussées.

On obtient d'après ces éléments le tableau suivant pour l'imputation des coûts sur les ouvrages d'art :

Usagers	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Coefficient OA	1	3,4	3,4	4,7

Tableau 10 : coefficients d'imputation des coûts sur les ouvrages d'art

Ces coefficients peuvent s'appliquer aussi bien pour l'élément fonctionnel viaduc que pour la partie ouvrage d'art des échanges et rétablissements routiers. Pour connaître la part des ouvrages d'art dans ces éléments fonctionnels, on peut utiliser la base INFRA coût. Celle-ci donne les résultats suivants, à partir des analyses sur les tracés neufs à 2*2 voies dénivelées :

Élément fonctionnel	Part des ouvrages d'art
Échange	40,6 %
Rétablissement routier (avec OA)	70,3 %

Tableau 11 : part des ouvrages d'art dans le coût des échangeurs et rétablissements

Ces coefficients mènent à établir les coefficients d'imputation sur les trois éléments fonctionnels suivants :

Usagers	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Coef. Echange	1	2,8	2,8	3,3
Coef. Rétablissement routier (avec OA)	1	3,1	3,1	4

Tableau 12 : coefficients d'imputation des coûts des échangeurs et des rétablissements

Pour les rétablissements routiers, on tiendra compte par la suite, en mesurant la part relative de chaque poste de dépenses dans l'investissement, que certains d'entre eux ne comportent pas d'ouvrage d'art.

2.2.5 - Aires de stationnement

D'après les données du Sétra sur le coût des aires de stationnement sur les autoroutes concédées (on ne dispose pas de suffisamment de données détaillées hors du réseau concédé), on estime que le poste des chaussées représente environ 36 % des dépenses sur les aires d'autoroutes (hors études et acquisitions foncières). C'est sur ce poste que l'on identifie les surcoûts liés à la présence de PL, en reprenant l'analyse faite pour les chaussées sur la section courante. Il convient alors d'imputer cette part chaussées avec les mêmes coefficients d'équivalence que ceux précédemment utilisés. En faisant l'hypothèse que les choix de technique pour les structures de chaussées restent les mêmes sur les aires de stationnement et sur la section courante, on obtient deux ensembles de coefficients pour les techniques bitumineuses et semi-rigides.

Ensuite, les 64 % restant des dépenses sur les aires sont affectés au prorata de l'occupation relative de l'aire par les PL par rapport aux VL. Ne disposant pas de données détaillées sur la fréquence d'arrêt des PL et des VL, on ne tiendra compte que des rapports d'espace occupé entre PL et VL, rapport pris égal à 4.

Finalement, on obtient pour les aires de stationnement les coefficients suivants :

Type de chaussée	VL	Classe 1 PL	Classe 2 PL	Classe 3 PL
Bitumineuse	1	6,4	7	9
Semi-rigide	1	6,1	6,8	9

Tableau 13 : coefficients d'imputation pour le stationnement

NB : sur les aires de stationnement, une partie des coûts sont supportés par le concessionnaire en charge d'aménager l'aire. Cette partie ne sera pas par la suite imputée aux usagers (elle n'est pas recensée dans la base INFRAcoût) qui participent déjà par ailleurs à ces coûts via leurs dépenses sur les aires.

2.2.6 - Environnement – Bruit

Pour imputer les dépenses liées à la construction de protections phoniques, il est proposé d'utiliser les coefficients d'équivalence acoustique PL/VL qui servent à déterminer les niveaux de bruits émis par un trafic donné avec des PL et des VL.

En théorie, la puissance d'émission sonore est la somme énergétique d'une « composante roulement », liée au contact pneumatique-chaussée et d'une « composante moteur » liée à l'ensemble des sources mécaniques des véhicules sur laquelle il convient de distinguer les PL des VL. Pour s'affranchir de la « composante roulement », on effectue la moyenne des situations observées sur trois types de couches de roulement représentatives du réseau routier national français ; les calculs sont effectués pour des couches en état d'usage (d'au moins 10 ans) dans des conditions de circulation en trafic fluide.

Au final, on aboutit aux résultats suivants :

- sur autoroute (la vitesse des VL est de 130 km/h et celle des PL de 90 km/h) : le coefficient d'équivalence PL/VL vaut 3,5 ;
- sur route normale (la vitesse des VL est de 90 km/h et celle des PL de 80 km/h) : le coefficient d'équivalence PL/VL vaut 6.

Ces coefficients sont ici donnés pour mémoire car il n'a pas été possible de les utiliser par la suite, étant donné le manque de données sur les investissements sur les protections phoniques.

2.2.7 - Conclusion : incidence globale du trafic PL sur les coûts de construction

Pour chiffrer l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction des routes, on a construit un ensemble de coefficients d'équivalence PL/VL adaptés à la doctrine française de conception des routes et différenciés par type de dépense.

Pour obtenir des coefficients d'équivalence globaux pour l'ensemble de l'investissement routier, il convient de tenir compte de la part relative de chaque type de dépense dans l'investissement global. Le paragraphe suivant présente les hypothèses et les parts retenues dans cette étude tandis que le suivant fournit le détail du calcul des coefficients globaux.

2.2.7.1 - Part des différents postes discriminants

La part des différents postes de dépense au sein de l'investissement routier est une donnée nécessaire pour pondérer les différents coefficients d'équivalence obtenus précédemment. Cette part peut être choisie de deux manières :

- en fonction des parts observées dans l'investissement routier. C'est le parti pris ici où les parts sont déterminées en exploitant la base de données de la DGR INFRAcoût sur les bilans pour les tracés neufs en 2*2 voies. On rappelle que cette base de données est à l'heure actuelle en phase de développement et que le nombre de bilans financiers pour des tracés neufs reste faible d'un point de vue statistique mais il s'agit de la seule base de données fiable disponible et détaillée sur l'investissement routier en France ;
- en fonction d'une politique routière qui définirait des priorités et souhaiterait mettre l'accent sur certains investissements. Cette technique serait pertinente s'il était décidé d'investir en particulier sur certains éléments de la route : aires de stationnement, équipements environnementaux par exemple.

Par ailleurs, la part de ces différents postes au sein de l'investissement routier est susceptible de changer en moyenne dans le temps pour suivre les évolutions de la doctrine de conception des routes (par exemple, l'attention grandissante portée à l'environnement pourraient influencer sur la part du poste environnement) ou les évolutions des prix (on pourrait imaginer un envol des prix des produits pétroliers qui conduiraient à accroître considérablement la part de postes comme les chaussées).

Finalement, la part des différents postes est une donnée sensible pour le calcul des coefficients d'équivalence sur l'investissement qui mériterait d'être consolidée au fur et à mesure du renseignement de la base INFRAcoût et qui nécessiterait d'être ensuite révisée régulièrement.

Ces précautions prises, voici la méthode finalement utilisée pour calculer la part des différents postes dans l'investissement. Il s'agit de celle utilisée pour calculer l'indicateur 2.2 « coût kilométrique de construction » du programme « Réseau Routier National » de la Loi Organique relative aux Lois de Finances (LOLF) ici considérée avec son référentiel de 2006. Elle s'appuie sur l'évaluation des coûts de construction pour une section générique neuve de 10km à 2*2voies avec échangeurs dénivelés. Le tableau suivant rappelle ces lois de calcul, pour les 10 km de cette section générique. On remarquera que cette section générique ne comporte pas de tunnel ou de tranchée (ouvrages exceptionnels pour lesquels nous n'avons pas pu mettre en évidence un rôle particulier lié aux PL). On ne tient pas compte non plus des postes pour les murs de soutènement, les aires d'entretien et les centres d'information qui représentent une faible part des dépenses.

Libellé	Unité	Quantité	Calcul du coût
Rubriques dites « communes »			
Études	km	10	Σ études/ Σ km
Acquisitions foncières	km	10	Σ AF/ Σ km
Dégagement d'emprises.	km	10	Σ dég.emp/ Σ km
Environnement	km	10	Σ envir/ Σ km
Surveillance des travaux	km	10	Σ surv.trav/ Σ km
Section courante 2 x 2v	km	10	Σ s.c./ Σ km
Échanges (avec OA)	U	2	Σ échangeurs/nombre
Rétablissements routiers (7)			
6 rétablissements avec ouvrage d'art			
Ouvrage d'art (largeur 8.50m)	U	6	Σ coûts OA x 8,5/ Σ largeur (m)
Rétablissement hors OA (largeur 6m; longueur 500m)	u	6	Σ coûts x 6 x 500/ Σ surfaces (m ²)
1 rétablissement sans OA (largeur 5m; longueur 900m)	m ²	1	Σ coûts x 5 x 900/ Σ surfaces (m ²)
Rétablissements non routiers			
Ouvrages hydrauliques	U	2	Σ OH/nombre
Passage faune	U	0.3	Σ PF/nombre
Voie ferrée	U	0.3	Σ VF/nombre
Pont non courant (longueur)	m	40	Σ coûts/ Σ km
Aire	U	0.5	Σ coûts /nombre
Frais de déclassement	km	7	Σ coûts / Σ km

Tableau 14 : calcul de l'indicateur LOLF « coût kilométrique de construction » avec INFRAcoût

Finalement, en reprenant les règles énoncées précédemment et en détaillant les parts de la section courante liées aux chaussées, aux terrassements et à l'assainissement (la part manquante est liée aux équipements) par exploitation de la base d'INFRA coût, on obtient les données suivantes :

Élément fonctionnel	Part (%)
Éléments non ventilés	19,6 %
Section courante	48,4 %
Dont chaussées	14,8 %
Dont terrassements	19,8 %
Dont assainissement	7,2 %
Viaducs	3,6 %
Échanges	9,5 %
Rétablissements routiers	8,1 %
Dont rétablissement sans OA	0,9 %
Rétablissements non routiers	7,3 %
Aires annexes	1,2 %
Frais déclassement	2,5 %

Tableau 15 : part des postes de dépenses

2.2.7.2 - Calcul d'un coefficient d'équivalence unique pour l'investissement

Finalement, en considérant les coefficients établis précédemment et la répartition des postes de dépenses ci-dessus, on peut construire le tableau de synthèse suivant et calculer des coefficients globaux pour l'investissement. La clé de répartition du trafic reste toujours la même avec 12 % de PL dans le trafic total et les différents types de PL répartis de sorte à reproduire le profil de trafic constaté au niveau des stations SATL. Les données sont fournies pour une chaussée bitumineuse et pour une chaussée semi-rigide ; on suppose que la même technique est utilisée à la fois pour les chaussées de la section courante et pour celles des aires.

Coefficients \ Usagers	VL	PL1	PL2bis	PL3bis
Coefficients chaussées	1	22	34	41
Coefficients terrassement	1	3,9	3,9	7,5
Coefficients assainissement	1	3,8	3,8	3,8
Coefficients viaducs	1	3,4	3,4	4,7
Echanges	1	2,8	2,8	3,3
Rétablissement routiers	1	3,1	3,1	4
Coefficients aires	1	6,4	7	9
Coefficients reste	1	2,5	2,5	2,5
Coefficient Investissement	1	3,8	4,3	5,5

Tableau 16 : coefficients d'équivalence (chaussée bitumineuse)

Coefficients \ Usagers	VL	PL1	PL2bis	PL3bis
Coefficients chaussées	1	20	25	42
Coefficients terrassement	1	3,9	6,8	6,8
Coefficients assainissement	1	3,8	3,8	3,8
Coefficients viaducs	1	3,4	3,4	4,7
Echanges	1	2,8	2,8	3,3
Rétablissement routiers	1	3,1	3,1	4
Coefficients aires	1	6,1	6,8	9
Coefficients reste	1	2,5	2,5	2,5
Coefficient Investissement	1	3,8	4,5	5,5

Tableau 17 : coefficients d'équivalence (chaussée semi-rigide)

Les chaussées bitumineuses représentent 38 % du RRN non concédé et les semi-rigides 41 %. Sur la base de ces ratios, il est possible de définir des coefficients moyens uniques pour l'ensemble de l'investissement.

Usagers	VL	Classe 1 PL	Classe 2 PL	Classe 3 PL
Coefficient d'équivalence	1	3,8	4,4	5,5

Tableau 18 : coefficients d'équivalence pour l'investissement

2.3 - Conclusion : incidence globale du trafic PL sur les coûts de construction

Finalement, l'étude met en évidence plusieurs types de surcoûts liés à la présence des PL et certains d'entre eux peuvent être attribués aux différents types de PL. En quantifiant ces surcoûts et en les imputant aux différentes catégories de PL considérées au prorata des trafics de chaque catégorie, il est possible d'établir des coefficients d'équivalence pour l'investissement.

En comparant les coefficients obtenus avec ceux proposés par la directive Eurovignette, il faut noter que les coefficients PL/VL sont supérieurs à 3 (ce coefficient n'apparaît pas dans l'annexe 3 de la directive mais était présent dans les documents préparatoires) et que l'on parvient à établir des coefficients différenciés entre les différents types de PL. Le tableau suivant présente ces coefficients pour les PL seuls.

Usagers	Classe 1 PL	Classe 2 PL	Classe 3 PL
Coefficient d'équivalence	1	1,17	1,44

Tableau 19 : coefficients d'équivalence entre PL pour l'investissement

Chapitre 3

Analyse de l'incidence des PL sur les coûts d'entretien des routes

La présence de PL sur une route impose certaines mesures d'entretien et d'exploitation spécifiques. Cette partie, sur le même modèle que la précédente, examine les différents postes de dépenses liés à l'entretien des routes, identifie les surcoûts liés à la présence de PL puis quantifie ces surcoûts dans un deuxième temps.

3.1 - Identification des surcoûts d'entretien et d'exploitation liés à la circulation des PL

Pour identifier les surcoûts d'exploitation et d'entretien de la route liés à la présence de PL, les postes de dépenses répertoriés dans la LOLF (référentiel de 2006) ont été successivement analysés. Il s'agit des postes suivants :

- entretien préventif et grosses réparations ;
- entretien courant et exploitation ;
- maintenance et réhabilitation des ouvrages d'art ;
- aménagements de sécurité ;
- autres dépenses DGR ;
- autres dépenses DGMT.

3.1.1- Surcoûts liés à l'entretien préventif et aux grosses réparations

L'entretien préventif et les grosses réparations désignent les opérations qui relèvent de l'entretien structurel des chaussées. Ces structures de chaussées ont une durée de vie limitée : elles sont dimensionnées pour accueillir un trafic de PL donné sur cette durée de vie comme expliqué dans la partie sur l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction des routes et elles « fatiguent » au passage des différents PL (les VL n'ont pas d'influence sur la fatigue des structures de chaussées).

En conséquence, il convient d'imputer l'ensemble des dépenses d'entretien structurel aux PL et de reprendre les coefficients d'agressivité calculés sur les différents types de chaussées (semi-rigides ou bitumineuses) comme indicateur pour définir des clés de répartition de ces dépenses.

3.1.2 - Surcoûts liés à l'entretien courant et l'exploitation

L'entretien courant désigne toutes les interventions d'entretien autres que l'entretien structurel. Cela regroupe des opérations d'entretien des couches de roulement des chaussées aussi bien que des travaux de fauchage des accotements. Contrairement à la construction, l'entretien courant ne fait pas l'objet d'une doctrine technique très développée du point de vue de la prise en compte du trafic PL.

Pour avoir des éléments relatifs aux surcoûts engendrés par la présence de PL, il faudrait interroger les services chargés de l'entretien du réseau routier afin de faire remonter leur expérience sur le sujet. A ce jour, plusieurs éléments permettent de penser que les PL induisent des surcoûts sur l'entretien courant. On peut citer par exemple les opérations suivantes, qui font l'objet de surcoûts liés à la présence de PL :

- les purges : ces opérations visent à réparer ponctuellement des troubles de la structure de chaussée. Elles sont donc, de même que les réparations structurelles, entièrement imputables aux PL avec les mêmes clés de répartition. Ces purges représentent 90 % des dépenses d'entretien courant sur les chaussées ;
- la réparation des dégâts sur le domaine public causés par les accidents : il apparaît que les PL ont en moyenne moins d'accidents que les VL mais qu'ils causent des dégâts beaucoup plus importants. Il est possible de suivre les dépenses pour réparer ces dégâts en DIR.

L'exploitation désigne quant à elle l'ensemble des activités menées pour assurer le bon fonctionnement des infrastructures routières autres que les activités d'entretien de ces infrastructures. Elle regroupe les interventions de contrôle (police, gendarmerie, contrôleurs du transport routier, douanes), de gestion du trafic (Centre de gestion du trafic, Radio Trafic, Bison Futé ...), de gestion des infrastructures (viabilité hivernale par exemple), les recouvrements de péages...

Pour la plupart des ces activités, il est difficile de déterminer des surcoûts engendrés par la présence de PL. Bien sûr, certaines activités visent essentiellement les PL comme le contrôle des transporteurs routiers mais il n'est pas toujours possible de suivre ces dépenses.

Il faut toutefois noter que, dans le cadre de la mise en place d'un système de tarification dédié aux PL, il conviendrait d'imputer les coûts de fonctionnement de la structure chargée de recouvrir les péages aux PL.

3.1.3 - Surcoûts liés à la maintenance et à la réhabilitation des ouvrages d'art

Ce poste d'entretien regroupe dans la LOLF (référentiel de 2006) trois types d'actions :

- la maintenance des ouvrages d'art ;
- la réhabilitation des ouvrages d'art ;
- la mise en sécurité des tunnels.

Pour la maintenance et la réhabilitation des ouvrages d'art, le trafic de PL est responsable du remplacement des joints de chaussées ainsi que de la réfection des chaussées et des étanchéités. Par ailleurs, il a sûrement un effet d'accélérateur sur le vieillissement des ponts, via la fatigue des ouvrages métalliques ou mixtes qui auraient été dimensionnés pour un trafic PL moins important que le trafic réellement supporté ou les dommages sur certains ouvrages en maçonnerie pour lesquels les voies de circulation ont été élargies et sur certains appareils d'appui. Nous renvoyons le lecteur à la note sur « L'influence de la prise en compte des poids lourds sur les ouvrages d'art » du 22 Novembre 2007 du CTOA fournie en annexe à ce document pour plus de détails.

Tous ces effets sont à ce jour difficilement quantifiables car on ne dispose pas d'une comptabilité permettant de suivre les dépenses imputables aux PL. En conséquence, on ne tiendra pas compte de surcoûts particuliers sur la maintenance et la réhabilitation des ouvrages d'art induits par la circulation de PL.

La mise en sécurité des tunnels routiers est une action guidée par la directive tunnel. Cette mesure est au bénéfice des PL et des VL, même si les principaux risques d'accidents graves (incendies importants) proviennent des PL. Il a été finalement décidé de ne pas chiffrer de surcoûts particuliers liés aux PL sur ce poste.

3.1.4 - Surcoûts liés aux aménagements de sécurité

Dans la LOLF (référentiel de 2006), les aménagements de sécurité désignent à la fois des aménagements localisés pour répondre à des besoins urgents (pour une part minoritaire des dépenses) et des aménagements plus importants sur des itinéraires sur lesquels une accidentalité élevée est constatée. La démarche permettant de hiérarchiser les interventions à mener sur les itinéraires, appelée démarche SURE (Sécurité des Usagers sur les Routes Existantes) traite de la même manière les accidents causés par des VL ou impliquant des VL que ceux causés par des PL ou impliquant des PL. En conséquence, il n'est pas possible d'identifier des surcoûts sur ce poste de dépenses liés à une prise en compte particulière des PL.

3.1.5 - Surcoûts liés aux autres dépenses de la DGR

Ce poste de la LOLF (référentiel de 2006) regroupe différentes interventions de l'administration pour lesquelles il n'est pas possible de mesurer la responsabilité relative des PL et des VL. En conséquence, on considèrera que ce poste doit être imputé également à tous les usagers.

3.1.6 - Surcoûts liés aux autres dépenses de la DGMT et de la DSCR

De même que le poste précédent, celui-ci regroupe différentes interventions de l'administration pour lesquelles il n'est pas possible de mesurer la responsabilité relative des PL et des VL. En conséquence, on considèrera que ce poste doit être lui aussi imputé également à tous les usagers.

3.2 - Quantification de la responsabilité des PL dans ces surcoûts

Parmi les surcoûts identifiés précédemment, il n'a été possible de déterminer des coefficients d'imputation des charges d'entretien entre les différents usagers VL et PL liés à l'usure relative de l'infrastructure que pour l'entretien structurel. En effet, il s'agit d'un domaine sur lequel on est capable de modéliser l'usure du patrimoine en fonction de son usage par chaque type de véhicule.

Pour les autres postes de dépenses, nous pouvons différencier ceux relatifs aux interventions sur l'infrastructure de ceux liés aux dépenses de fonctionnement des administrations.

Pour les premiers, nous considèrerons par défaut que les dépenses doivent être imputées entre VL et PL au prorata des parcours effectués en utilisant un coefficient d'équivalence PL/VL de 2,5 afin de tenir compte de l'encombrement relatif des PL par rapport aux VL (on rappelle que ce coefficient est utilisé dans les courbes temps-débit avec cet objectif).

Pour les dépenses des administrations, on retient un coefficient de 1 pour les VL et les PL. Ces dépenses sont imputées également entre tous les usagers.

Si on souhaitait développer une approche plus fine du sujet, il faudrait recueillir des informations auprès des services opérationnels chargés de l'entretien des routes car il n'existe pas de doctrine technique mettant en évidence la prise en compte du trafic de PL sur la stratégie d'entretien de la route et donc permettant de quantifier des surcoûts éventuels liés à la présence de ces PL.

3.2.1 - Surcoûts d'entretien structurel

L'entretien structurel est un poste de dépenses à imputer uniquement aux PL. En effet, les études sur la fatigue des structures de chaussée montrent que celle-ci est directement liée à l'agressivité des véhicules calculée lors des études de dimensionnement des chaussées.

Le tableau suivant propose des coefficients d'imputation pour chaque classe de PL sur chaque type de chaussée, moyenne pondérée par les parts de trafic des coefficients d'agressivité calculés avec le logiciel Alizé.

Classe de PL	Agressivité moyenne pondérée sur chaussée bitumineuse	Agressivité moyenne pondérée sur chaussée semi-rigide
Classe 1	1	1
Classe 2	16	259
Classe 3	48	728

Tableau 20 : agressivité moyenne des différentes classes de PL

On remarque que les coefficients proposés augmentent beaucoup plus fortement d'une classe à l'autre que ceux proposés par l'annexe 3 de la directive. Ceci est lié au fait que les coefficients de la directive sont obtenus en calculant les agressivités relatives d'essieux de 5,5, 6,5, 7,5 et 8,5t sur une chaussée bitumineuse alors que dans le calcul précédent, on tient compte de la charge réelle des PL des différentes classes (12t, 26t, 40t) mais aussi de la répartition de cette charge sur les essieux de chaque type de PL, de la position relative de ces essieux en fonction de la silhouette du PL considéré et du type de chaussée sur laquelle il se trouve.

3.2.2 - Autres surcoûts

Le raisonnement retenu consiste à différencier les dépenses sur l'infrastructure de celles des administrations. Au final :

- les dépenses liées à l'entretien courant, à l'exploitation, à la maintenance et à la réhabilitation des ouvrages d'art et à la sécurité sont imputées avec un coefficient de 2,5 ;
- les dépenses liées au fonctionnement de la DGR et de la DGMT sont imputées également entre tous les usagers.

3.3 - Conclusion : incidence globale du trafic PL sur les coûts d'entretien

Finalement, l'incidence du trafic PL sur les coûts d'entretien est difficile à mesurer.

Il est au minimum possible d'imputer les coûts d'entretien structurel aux seuls PL en utilisant des coefficients d'imputation représentatifs de l'agressivité relative de ces PL sur les structures de chaussées. Mais, pour les coûts d'entretien courant et d'exploitation, il est plus difficile de déterminer des critères d'imputation des charges et ce domaine mériterait d'être approfondi pour déterminer si les PL sont responsables de surcoûts d'entretien et d'exploitation. Ce type de travail devrait s'appuyer sur des remontées d'informations de la part des services opérationnels chargés de l'entretien et de l'exploitation des routes car il n'existe pas de doctrine technique mettant en évidence une prise en compte particulière des PL évaluée en termes de coûts.

En retenant la moyenne des coefficients obtenus pour les chaussées bitumineuses (38 % du RRN) et semi-rigides (41 % du RRN), on obtient finalement les coefficients suivants pour l'entretien structurel. Ils sont notablement plus élevés que ceux proposés par la directive Eurovignette qui retient des coefficients allant de 1 pour les PL les moins agressifs à 5,72 pour les plus agressifs. Les coefficients sur les autres dépenses d'entretien et d'exploitation sont reportés pour mémoire.

Classe de véhicule	Coefficient entretien structurel	Coefficient entretien et exploitation de l'infrastructure	Coefficient fonctionnement des administrations
VL	0	1	1
PL Classe 1	1	2,5	1
PL Classe 2	142	2,5	1
PL Classe 3	402	2,5	1

Tableau 21 : coefficients d'équivalence pour l'entretien et l'exploitation des routes

Conclusion générale : résultats de l'étude et directive Eurovignette

L'étude sur l'incidence du trafic PL sur les coûts de construction et d'entretien des routes en France a mis en évidence des surcoûts liés directement à la prise en compte du trafic PL sur les routes. Elle a par ailleurs quantifié, lorsque cela était possible, la responsabilité relative des PL et des VL, mais aussi des différents types de PL dans les coûts actuels des routes. Les résultats, qui s'appuient sur la doctrine technique en vigueur, permettent d'alimenter les réflexions de la DGR sur la transposition de la directive Eurovignette en général et de l'annexe III en particulier portant sur « les principes fondamentaux pour la répartition des coûts et le calcul des péages ».

Par rapport à cette annexe, l'étude remet fortement en question le tableau des « coefficients d'équivalence à titre indicatif » :

- d'abord, elle met en évidence que, vis-à-vis des coûts de construction, les PL ont une responsabilité relative par rapport aux VL supérieure à un ratio de 1 à 3 (ce ratio de 1 à 3 n'apparaît pas dans la directive mais dans les documents préparatoires). Elle montre également qu'il est possible de déterminer une incidence relative entre différentes catégories de PL, définies par rapport à l'agressivité des PL qu'elles regroupent sur les structures de chaussées. Ces catégories de PL qui ressortent de l'analyse des surcoûts sur les chaussées sont sensiblement différentes de celles proposées par l'annexe 4 de la directive. Au final, l'étude préconise l'utilisation de coefficients d'équivalence PL/VL allant d'environ 3,8 à 5,4 en fonction du type de PL considéré ;
- ensuite, sur les dépenses d'entretien structurel, cette étude propose des coefficients d'équivalence en accord avec la doctrine française de dimensionnement des structures de chaussées et avec les calculs d'agressivité des différents types de PL sur les structures que l'on rencontre en France. Ces coefficients sont largement supérieurs à ceux proposés par l'annexe III de la directive.
- enfin, sur les autres dépenses d'entretien, cette étude n'a pas pu quantifier l'incidence du trafic PL sur les coûts. Elle propose donc une approche simplifiée par défaut. Il conviendrait pour ce faire de suivre plus précisément les dépenses effectuées sur le réseau routier mais aussi l'origine de ces dépenses.

Bibliographie

Guides techniques

- 2009, Sétra, *Rapport d'études – Incidence du trafic PL sur les coûts de construction des chaussées neuves*
- 2007, Sétra, *Recueil de statistiques – Construction des ouvrages d'art – année 2005*
- 2007, Sétra, *Guide technique – Pollution d'origine routière – Conception des ouvrages de traitement des eaux*
- 2007, Sétra, *Note d'information – Calcul prévisionnel de bruit routier – Profils journaliers de trafics sur routes et autoroutes interurbaines*
- 2006, Sétra, *Guide technique – Assainissement routier*
- 2006, Sétra, *Guide technique – Drainage routier*
- 2006, Sétra, *Guide technique – Démarche SURE, Sécurité des Usagers sur les Routes Existantes - Présentation et Management*
- 2006, Sétra, *Guide méthodologique – Démarche SURE, Sécurité des Usagers sur les Routes Existantes – Étude d'enjeux de sécurité routière pour la hiérarchisation des itinéraires*
- 2006, Sétra, *Guide méthodologique – Démarche SURE, Sécurité des Usagers sur les Routes Existantes – Diagnostic de l'itinéraire et pistes d'actions*
- 2006, Sétra, *Guide méthodologique – Démarche SURE, Sécurité des Usagers sur les Routes Existantes – Plan d'actions et réalisation des actions*
- 2004, Sétra-Inrets-SNCF, *Guide technique – Géfra – Jumelage des plates-formes ferroviaires et routières ou autoroutières*
- 2003, Gressier Claude, Bureau Dominique, *Couverture des coûts des infrastructures routières. Analyse par réseaux et par sections types du réseau routier national*
- 2001, MTETM-Sétra-Certu, *Guide technique – Bilan financier prévu par la circulaire n°94-56 du 5 Mai 1994 définissant les modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissement sur le réseau routier national non concédé*
- 2000, MTETM-DR-Sétra, *Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison – Aide à la définition des dispositifs de protection anti-pénétration*
- 1999, Brossier Christian, Leuxe André, *Imputation des charges d'infrastructures routières pour l'année 1997*
- 1998, Sétra, *Relevé des conclusions du groupe de travail sur l'éventualité d'une autoroute réservée aux seuls véhicules légers – Caractéristiques techniques à adopter (étude pour A51)*
- 1998, Emile Quinet, *Principes d'économie des transports*, éd. ECONOMICA
- 1998, MTETM-Sétra-LCPC, *Catalogue des structures types de chaussées neuves*
- 1998 (et 2006 NF EN 1317-2/A1), AFNOR, *Norme Française et Européenne NF EN 1317-2 – Dispositifs de retenue routiers*
- 1998, Sétra, *Guide technique – L'équipement des routes interurbaines*
- 1996, Sétra-SNCF-CTICM, *Guide technique – Ponts métalliques et mixtes - résistance à la fatigue - guide de conception et de justification*
- 1994, MTETM-Sétra, *Guide technique – Aménagement des routes principales*
- 1994, Sétra-LCPC, *Conception et dimensionnement des structures de chaussée*

- 1992, USAP, *Incidence du trafic PL sur les coûts de construction et d'exploitation des autoroutes*
- 1991, Brossier Christian, Ayoun Philippe, Leuxe André, *Nouvelle étude de l'imputation des coûts d'infrastructure de transports – Affaire 91-105*
- 1985, Sétra, *Guide de conception – Ponts mixtes acier-béton bipoutres*
- 1983, Josse Paul, *Le coût des transports par route pour la collectivité - Affaire 86-60*
- 1979, Peyronne Christian, Caroff Gilbert, *Agressivité des diverses silhouettes de poids lourds. Aspects techniques et économiques*
- 1979 (révisée en 1995), Sétra, *Instruction technique – Surveillance et entretien des ouvrages d'art*
- 1977 (actualisation en 1988), Sétra-LCPC, *Guide technique - Structures types de chaussées neuves*
- 1971, Sétra, *Cahier des prescriptions communes applicables aux marchés de travaux publics relevant des services de l'équipement. Fasc. n°61 - Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art - Titre II : programmes de charges et épreuves des ponts routiers.*

Textes officiels

- 2006, Parlement Européen et Conseil de l'Union Européenne, *Directive 2006/38/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 mai 2006 modifiant la directive 1999/62/CE relative à la taxation des poids lourds pour l'utilisation de certaines infrastructures*
- 2005, Conseil de l'Union Européenne, *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 1999/62/CE on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures (EUROVIGNETTE)*
- 2001, MTETM, *Circulaire n°2001-33 du 21 Mai 2001 relative à la maîtrise des coûts de construction des routes ; bilan financier des opérations*
- 1999, Parlement Européen et Conseil de l'Union Européenne, *Directive 1999/62/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 Juin 1999 relative à la taxation des poids lourds pour l'utilisation de certaines infrastructures*
- 1994, MTETM, *Circulaire n°94-56 du 5 Mai 1994 définissant les modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissement sur le réseau routier national non concédé*

Logiciels

- Alizé : www.lcpc.fr/ext/pdf/prod/alize.pdf ou <http://www.itech-soft.com/fr/alize/alizemeca.htm>

Articles scientifiques

- 2001, M. Boilé, K. Ozbay, P. Narayanan, *FHWA-NJ2001-030, Infrastructure Costs Attributable to Commercial Vehicles*
- 1999, M. J. Meurer, *47 Buffalo Law Review 937-74, Fair Division*
- 1998, D. M. Levinson, D. Gillen, *Transportation Research, Vol. 3, No. 4, pp. 207-223, The Full Cost of Intercity Highway Transportation*
- 1995, A. Castano-Pardo, A. Garcia_Diaz, *Transportation Research, Vol. 29A, No. 3, pp. 187-203, Highway Cost Allocation : an Application of the Theory of Nonatomic Games*
- 1986, S. H. Tijs, T. S. H. Driessen, *Management Science, Vol.32, No. 8, pp. 1015-1028, Game Theory and Cost Allocation Problems*

Glossaire

AFNOR	Association Française de NORmalisation
BAU	Bande d'Arrêt d'Urgence
CE	Commission Européenne
CETE	Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CGPC	Conseil Général des Ponts et Chaussées
CSTR	Centre de la Sécurité, des Transports et de la Route (Sétra)
CTICM	Centre Technique Industriel de la Construction Métallique
CTOA	Centre Technique des Ouvrages d'Art (Sétra)
DEE	Direction d'Études Environnement (Sétra – CSTR)
DEGTI	Direction d'Études Gestion du Trafic et des Infrastructures (Sétra – CSTR)
DETCE	Direction d'Études Techniques de Construction et d'Entretien (Sétra – CSTR)
DGMT	Direction Générale de la Mer et des Transports
DGR	Direction Générale des Routes
DIR	Direction Inter-Régionale
DSCR	Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières
ESAL	Equivalent Sigle-Axle Loads
FHA	Federal Highway Administration
Géfra	Groupe d'Études pour le jumelage des voies Ferrées à grande vitesses, des Routes et des Autoroutes
ICTAAL	Instruction sur les Conditions Technique d'Aménagement des Autoroutes de Liaison
INRETS	Institut National de Recherche sur le Transport et leur Sécurité
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LOLF	Loi Organique relative aux Lois de Finances
LOTI	Loi d'Orientation des Transports Intérieurs
LRPC	Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
MJA	Moyenne Journalière Annuelle
MTETM	Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer
PL	Poids Lourd

PTAC	Poids Total Autorisé en Charge
PTRA	Poids Total Roulant Autorisé
RRN	Réseau Routier National
RSTE	Réseau Scientifique et Technique de l'Équipement
SATL	Système d'Analyse du Trafic Lourd
Sétra	Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements
SICRE	Système d'Information sur la Connaissance du Réseau routier national
SIREDO	Système Informatisé du REcueil de DONnées
SN _{CF} – CTICM	Société Nationale des Chemins de fer Français – Centre Technique International de Constructions Métalliques
SURE	Sécurité des Usagers sur les Routes Existantes
TPC	Terre-Plein Central
USAP	Union des Sociétés d'Autoroutes à Péages
VL	Véhicule Léger

Annexes

- 1 - La doctrine française sur l'imputation des charges d'infrastructure routière

- 2 - Influence de la prise en compte des PL sur les ouvrages d'art (note Sétra du 22/11/2007)

- 3 - Imputation des coûts de construction d'une route neuve

- 4 - Liste des personnes et institutions rencontrées ou ayant participé à l'étude

Annexe 1 - La doctrine française sur l'imputation des charges d'infrastructure

État des lieux réalisé en préalable à l'étude en janvier 2007.

Le problème de la tarification des infrastructures routières consiste à déterminer pour l'ensemble des coûts de transport la part imputable à chaque catégorie de véhicule. Pour cela, on distingue généralement quatre grandes classes de coûts : les charges d'investissement, les charges de maintenance, les charges d'exploitation et les coûts externes.

Puis, pour chacune de ces classes, on cherche à définir la part imputable à chaque catégorie de véhicule. Selon la finesse de l'étude, les classes de coûts se divisent en sous-classes et les catégories de véhicules se multiplient en fonction de différents paramètres (nombre d'essieux, charge, charge équivalente à l'essieu de 13T, etc.). L'objectif est soit de calculer directement des coûts kilométriques par catégories de véhicules, soit de construire des coefficients d'équivalence entre catégories de véhicules afin de répartir des dépenses globales.

Cette note fait la synthèse des pratiques françaises pour le calcul de ces coefficients d'imputation des charges pour chaque classe de dépense identifiée. Elle tente également de décrire l'évolution de certains raisonnements et résultats pour mettre en évidence les approfondissements à mener. Enfin, elle propose une bibliographie de base pour l'étude du sujet.

Les charges d'investissement

La question de l'imputation des charges d'investissement est détaillée dans le *rapport 83-60 du CGPC dit « rapport Josse »*. Celui-ci propose une méthode de calcul de coefficients d'équivalence entre PL et VL pour la construction de routes nouvelles qui tient compte de l'adaptation du dimensionnement de l'infrastructure en fonction du volume et du type de trafic (ratio VL/PL) qu'elle doit accueillir. Elle aboutit au résultat suivant : 1 PL équivaut à 5 VL pour la construction d'une route à chaussées séparées et 1 PL équivaut à 12 VL pour la construction d'une route à chaussée simple. Ces résultats sont loin d'être évidents lorsqu'on essaie de les retrouver à partir des éléments de calcul et des données fournis.

En outre, ces coefficients ne semblent pas avoir été mis à jour depuis 1983 alors qu'ils reposent sur des données de trafic et de coûts de construction des années 1980. De plus, à partir du *rapport 91-105 du CGPC*, ils sont modulés pour mieux tenir compte de l'impact des différentes silhouettes de PL de sorte que les coefficients d'imputation obtenus au final ne sont pas transparents.

En conséquence, il pourrait être souhaitable de revoir cette méthode d'imputation des charges d'investissement. Ce travail, à réaliser principalement en liaison avec la DE TCE devra :

- faire le bilan des méthodes disponibles actuellement pour relier les coûts d'investissement en routes nouvelles aux trafics de VL et de PL ;
- étudier en détail la méthode du 83-60 afin d'en comprendre les origines, de vérifier la validité des coefficients d'imputation qu'elle permet d'obtenir et d'identifier les éléments qui ne représentent plus la réalité ;
- comparer la méthode du 83-60 aux méthodes actuelles ;
- étudier la possibilité de mettre à jour la méthode 83-60 ou de mettre en place un nouveau moyen de répartir les charges d'investissement. Une attention particulière devra être portée à l'approche patrimoniale, utilisée dans d'autres pays, et sur laquelle les DES GTI et TCE ont déjà travaillé.

Les charges de maintenance

Le rapport du CGPC 88-056 propose dans son annexe 3 une méthode d'imputation des charges de maintenance entre véhicules. Elle est issue du rapport intermédiaire de Février 1978 d'un groupe de travail interministériel créé le 23/03/1972.

Cette méthode définit dans un premier temps quatre types de dépenses nommés D0, D1, D2 et D3. Les dépenses du type D0 sont relatives à des coûts fixes et on ne propose donc pas de coefficients d'imputation pour ces coûts. Les autres dépenses peuvent être ventilées entre véhicules et servir de base à une tarification kilométrique. Les dépenses du type D1 sont à imputer au prorata des vkm, les dépenses du type D2 au prorata des vkm pondérés par la charge du véhicule et les dépenses du type D3 au prorata des vkm pondérés par les « essieux équivalents ». Le système de pondération pour les dépenses D3 provient d'études sur l'agressivité des poids lourds sur les chaussées qui introduisent la notion d'essieu équivalent (cf Rapport Laval 1970 et Agressivité de diverses silhouettes de poids lourds. Aspects techniques et économiques – SETRA Juin 1979). Il faut savoir que ce système a évolué depuis les années 1970 dans un sens qui pénalisait plus lourdement les silhouettes les plus imposantes dans le rapport 91-105 puis dans le sens inverse dans sa mise à jour où l'on est revenu à la méthode Laval. En pratique, il semblerait qu'en distinguant uniquement les VL des PL, on imputerait quasiment la totalité des charges aux PL et ce système n'est donc utile que lorsqu'on veut différencier les PL entre eux.

Par ailleurs, la différenciation entre dépenses fixes D0 et dépenses variables D1, D2 et D3 en fonction des vkm servait à alimenter une politique de tarification au coût marginal social. C'est également dans cette optique que la méthode fournissait des coefficients de marginalité pour chaque type de dépenses D1 (50 %), D2 (60 %) ou D3 (75 %) établis sur l'observation de l'évolution relative des dépenses et des trafics (rapportés aux unités correspondantes). Par la suite, l'évolution de la politique de tarification d'un système de tarification au coût marginal social vers un système de tarification au coût complet a entraîné l'abandon des coefficients de marginalité et la ventilation de la dépense D0 dans les autres types de dépenses D1, D2 et D3 au prorata de leur volume (méthode proposée dans le rapport 91-105). Cette politique de tarification au coût complet a également incité à tenir compte des frais généraux des administrations (rémunération du personnel) dans la dépense D0 à partir de la mise à jour du rapport 91-105 en 1996.

Une fois définis ces types de dépenses, il faut regarder pour chaque dépense effectivement réalisée la part de dépense fixe D0, la part de D1, la part de D2 et la part de D3. Le tableau suivant récapitule ces parts pour toutes les dépenses d'entretien. Il permet de définir pour chaque véhicule une tarification kilométrique en fonction de sa charge et de sa silhouette.

Proposition de répartition des dépenses de l'Etat	D0	D1	D2	D3
Programme d'entretien				
a) Entretien courant				
AR non concédées et voies assimilées	1			
RN renforcées ou en bon état	1			
Entretien curatif			0,2	0,8
Ouvrages d'art (hors ponts de Paris)	1			
Consommation éclairage	1			
Viabilité hivernale		1		
Marquage		1		
b) Moyens des Parcs				
Renouvellement matériels	0,49	0,26	0,05	0,2
Extension du réseau traité au niveau S1	0,49	0,26	0,05	0,2
Carburants	0,49	0,26	0,05	0,2
Équipements et réparations	0,49	0,26	0,05	0,2
c) Opérations individualisées d'entretien				
AR non concédées ou voies assimilées			0,4	0,6
Entretien préventif des RN			0,5	0,5
Attributions exceptionnelles	1			
d) Divers				
Construction de parcs et centres autoroutiers	1			
Pesées et transports exceptionnels		1 (PL)		
Chaussées et ponts de Paris			1	
Information des usagers et divers		1		
Renforcements, aménagements et équipements de sécurité				
Renforcements			0,1	0,9
Travaux d'accompagnement		1		
Équipements de sécurité sur axes renforcés dans l'année		1		
Travaux différés			0,1	0,9
Rattrapage d'équipements		1		
Ajustement du stock de granulat			0,1	0,9
Renforcement des ouvrages d'art				
Grosses réparations	1			
Renforcements coordonnés	1			
Réparation des ouvrages dangereux	1			

Tableau 22 : imputation des charges de maintenance

L'origine de certains coefficients est loin d'être évidente ou même connue pour le moment. En théorie, ils tiennent compte de la diffusion des différentes techniques de construction des routes et de la fréquence relative de leur utilisation.

Par ailleurs, certaines dépenses D1 semblent avoir été imputées différemment à partir du *rapport 91-105*. Ainsi, les dépenses liées à la viabilité hivernale et aux péages (pour les autoroutes concédées) sont imputées au prorata

des vkm pondérés par un facteur 1,5 pour les PL. Cette modification est issue des pratiques des sociétés concessionnaires d'autoroutes qui considèrent que leurs charges d'exploitation (péages, viabilité hivernale) sont environ 1,5 fois plus lourdes pour les PL que pour les VL. En conséquence, le *rapport 91-105* introduit une nouvelle classe de dépense appelée D1' pour la viabilité hivernale essentiellement sur le réseau non concédé.

Enfin, il faut noter que le champ de la maintenance varie d'un rapport à l'autre. En général, la maintenance englobe l'entretien et la construction des renforcements mais les renforcements coordonnés peuvent également être comptabilisés dans la classe des investissements. Dans ce cas, ils doivent être imputés à 90 % aux PL selon le *rapport 83-60*.

Cette méthode est encore d'actualité. En témoignent les *rapports de 1999 et de 2003* qui recalculent pour différents réseaux l'imputation des charges routières sur la base de ces résultats. Toutefois, il pourrait être utile de revoir cette démarche. Pour cela, il faut :

- vérifier la validité de la séparation des dépenses en 4 types D0, D1, D2 et D3 ;
- pour chaque ligne de dépense, vérifier la bonne ventilation entre ces 4 types ;
- étudier l'opportunité d'autres méthodes de calcul ;
- vérifier la disponibilité et l'accessibilité des données nécessaires au déploiement de cette méthode.

Les charges d'exploitation

Les dépenses d'exploitation sont liées essentiellement aux dépenses de police de la route. Elles sont soit considérées comme des coûts fixes, soit ventilées au prorata des vkm pondérés par des coefficients divers. Généralement, ces coefficients correspondent à une notion d'encombrement de la voie mais leur valeur varie dans le temps. Dans les rapports les plus récents, un PL de plus de 12T est équivalent à 3 VL (depuis le *rapport intermédiaire 1978*) alors qu'il équivalait à 6,2 VL précédemment (*rapport Laval 1970*).

Le mode de répartition de ces charges semble finalement assez arbitraire. Il serait donc utile de s'interroger sur le sujet même s'il faut garder à l'esprit que ces charges sont peut-être négligeables face aux dépenses d'entretien. Comme pour l'étude de l'imputation des charges d'entretien, les pratiques à l'étranger méritent d'être étudiées et il faut se poser la question de la disponibilité des données.

Les coûts externes

Les coûts externes se divisent généralement entre coûts de congestion, coûts externes d'insécurité, et coûts externes environnementaux (pollution, bruit et effet de serre).

Pour tarifier ces coûts, on ne ventile pas des dépenses observées en fonction des caractéristiques des véhicules mais on estime souvent directement des coûts kilométriques qui dépendent de la catégorie des véhicules (PL ou VL, classe d'émission...).

Le sujet des coûts externes est très développé dans les récents rapports et il ne semble donc pas prioritaire de travailler dessus. En particulier, le rapport intitulé *Couverture des coûts des infrastructures routières* de Septembre 2003 fournit des valeurs récentes pour le calcul des coûts externes. Celles-ci sont en accord avec la dernière circulaire Boiteux. De plus, il faut garder à l'esprit que la directive Eurovignette n'autorise qu'une modulation limitée du système tarifaire en fonction des coûts externes, le coeur du système tarifaire étant quant à lui lié au recouvrement complet ou partiel du coût complet de l'infrastructure. En effet, les surpéages sont limités aux cas de traversées de zones montagneuses et leur application est rigoureusement encadrée.

BIBLIOGRAPHIE DE BASE

- Gressier, Bureau, Couverture des coûts des infrastructures routières. Analyse par réseaux et par sections types du réseau RN, 2003.
- Brossier, Leuxe, Imputation des charges d'infrastructures routières pour l'année 1997, 1999.
- Brossier, Ayoun, Leuxe, MAJ du rapport 91-105, 1996.
- Brossier, Ayoun, Leuxe, Nouvelle étude de l'imputation des coûts d'infrastructure de transports - Affaire 91-105,1991.
- Josse, Actualisation de la taxe à l'essieu et adaptation de la fiscalité routière - Affaire 88-56, 1988.
- Josse, Le coût des transports par route pour la collectivité - Affaire 86-60, 1983.
- Peyronne et Caroff, Agressivité des diverses silhouettes de poids lourds. Aspects techniques et économiques, 1979.
- Laval, Rapport sur l'imputation des charges d'infrastructures aux véhicules routiers de marchandises, 1970.

Annexe 2 - Influence de la prise en compte des PL sur les ouvrages d'art (note Sétra du 22/11/2007)

1 - Généralités

1.1 - Le parc d'ouvrages du réseau routier national

Données relatives aux ouvrages d'art du nouveau réseau routier national (hors autoroutes concédées).

- Longueur du réseau : 11800 km
- Nombre d'ouvrages : 9983 arrondi à 10000
- Surfaces d'ouvrage : 4 022 073 m² arrondi à 4 M m²
- Surface moyenne : 400 m²
- Longueur moyenne : 28 mètres
- Largeur moyenne : 14 m (400/28)
- Longueur d'ouvrages ramenée au km de route : $10000 \times 28 / 11800000 = 2,4 \%$

1.2 - Statistiques de la construction

Le Sétra édite chaque année des statistiques relatives à la construction des ouvrages d'art *Recueil de statistiques - Construction des ouvrages d'art*

Les chiffres ci-après sont tirés de l'édition d'avril 2007 de ces statistiques portant sur l'année 2005.

Ouvrages routiers (hors autoroutes concédées) :

[Surface de ponts mixtes ou métalliques / surface totale] = 53,2 % (chapitre 2 - tableau page 22).

Coût moyen : 1823 €le² HT en 2005 (chapitre 2 - tableau page 10) arrondi à 2000 €le m² pour 2007.

1.3 - Dimensionnement des ouvrages d'art

Les ouvrages d'art sont conçus pour une durée de vie théorique de 100 ans.

A la conception, cette durée de vie est principalement prise en compte de deux façons :

- par le choix de la formulation du béton pour les ouvrages en béton (cf § II.1 ci-après),
- par la prise en compte du phénomène dit de « fatigue » pour les ouvrages métalliques et mixtes (cf § II.2 ci-après) lorsque ceux-ci sont soumis à un grand nombre de passages de poids lourds.

Ils sont dimensionnés pour supporter le passage des poids lourds.

Certains d'entre eux sont de plus dimensionnés pour supporter des charges militaires. Ces charges sont :

- soit des charges théoriques réglementaires (convois militaires M80 ou M120 définis à l'article 9 du fascicule 61 du titre II du cahier des prescriptions communes de 1971),
- soit des charges correspondant à des convois réels (convois de porte-engins-blindés Leclerc d'une centaine de tonnes par exemple).

Par la suite, compte tenu de l'influence sur le dimensionnement de ces charges qui sont très agressives, le cas des ouvrages dimensionnés avec les charges militaires fera l'objet d'analyses spécifiques.

2 - Investissement

On retient la terminologie utilisée pour les coûts d'investissement dans le bilan financier prévu par la circulaire n°94-56 du 5 mai 1994. On distingue :

- d'une part, l'élément fonctionnel n°6 « viaduc » ;
- d'autre part, dans les éléments fonctionnels n°2, 3 et 4, « échange », « rétablissement routier », « rétablissement autre que routier », qui intègrent des coûts « ouvrages d'art ».

2.1 - Influence de la prise en compte des poids lourds sur la géométrie des ouvrages d'art

La non-prise en compte des véhicules lourds pour les ouvrages d'art peut permettre de réduire leur géométrie.

Largeur des tabliers

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires

« Avec poids lourds » on considère des voies de circulation de 3,5 m de large.

« Sans poids lourd » on considère des voies de circulation de 3 m de large.

Sur un tablier classique de 11 mètres de large supportant 2 voies de circulation, l'absence de poids lourd permet donc de supprimer 9 % de la largeur.

Cette disposition est géométriquement compatible pour les ouvrages « sans poids lourd » avec le passage occasionnel de véhicules de secours ou de service.

Cas des ouvrages dimensionnés pour les charges militaires

Les convois réglementaires M80 et M120 sont supposés circuler seuls sur ouvrages.

Les remorques des convois militaires de type porte-engins-blindés Leclerc font 3,44 mètres de large. Une largeur de chaussée de 3 m conduit donc à des conditions de circulation difficiles.

Hauteur des piles et des remblais adjacents

Cas des ouvrages ne franchissant pas des itinéraires à charges militaires

Les hauteurs libres à ménager sous les ouvrages franchissant des voies circulées peuvent également être réduites en l'absence de poids lourds.

Selon la circulaire du 17 octobre 1986, la hauteur libre minimale à assurer sous un ouvrage pour permettre le passage des poids lourds varie entre 4,30 m et 4,75 m selon le type de voie franchie.

Selon ce même document, la hauteur minimale pour assurer le passage des autobus urbains, véhicules de services et de secours est de 3,65 m, soit une réduction variant de 15 % à 23 % sur la hauteur des piles et des remblais d'accès. Enfin cette circulaire indique qu'une hauteur libre de 2,60 m est adaptée à la circulation des véhicules légers seuls.

Le document « Recueil de statistiques - Construction des ouvrages d'art – année 2005 » montre dans le tableau de la page 25 que plus de la moitié des ouvrages construits franchissent des routes et sont donc concernés.

On retient 9 % pour la réduction potentielle sur les piles et les remblais.

Cas des ouvrages franchissant des itinéraires à charges militaires

Nous ne disposons pas d'information sur les hauteurs libres à respecter.

On considère donc qu'aucune réduction n'est possible dans ce cas.

Cependant, la proportion d'ouvrages concernés, c'est-à-dire franchissant des itinéraires à véhicules militaires est suffisamment faible pour que la valeur de 9 % puisse être conservée pour les appuis et remblais, cependant ramené à l'ensemble de l'opération cette économie est négligée.

Conclusion sur les économies possibles vis-à-vis de la géométrie

Ces économies s'appliquent à l'élément fonctionnel « viaduc », et aux ouvrages d'art des éléments fonctionnels « échange », « rétablissement routier », « rétablissement autre que routier ».

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires

Globalement, on considère qu'une économie de 9 % peut être obtenue sur la géométrie des ouvrages du fait de la non-prise en compte des poids lourds.

Cas des ouvrages dimensionnés pour les charges militaires

Si l'on considère que des voies de 3 m sont acceptables, l'économie ramenée à l'opération est alors de l'ordre de 5 % (en considérant que le tablier représente environ la moitié du coût).

Sinon pas d'économie.

2.2 - Influence de la prise en compte des poids lourds sur la capacité portante des ouvrages

La non-prise en compte des véhicules lourds pour les ouvrages d'art peut permettre de réduire leur capacité portante.

Approche générale

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires

On compare le dimensionnement d'un ouvrage « avec poids lourds » au dimensionnement d'un ouvrage « sans poids lourd ».

Pour le cas « avec poids lourds », la 1^{ère} classe de dimensionnement du fascicule 61 du titre II du cahier des prescriptions communes de 1971 (règlement de charge actuellement utilisé en France pour les ouvrages d'art) s'applique. Il est à noter que cette classe est équivalente à la 2^{ème} classe du prochain règlement de charge (l'Eurocode 1.2) qui sera la classe la plus couramment employée pour le dimensionnement des futurs ouvrages d'art.

Pour le cas « sans poids lourd », le dimensionnement doit prendre en compte malgré tout quelques camions relativement légers, pour autoriser le passage de véhicules d'urgence (pompiers, ...) ou de service (autobus, éboueurs, ...), et pour éviter l'effondrement de l'ouvrage sous le passage d'un véhicule en infraction.

Nous considérerons que ce cas correspond à la 3^{ème} classe de dimensionnement du fascicule 61 titre II, et que celle-ci couvre le passage de poids lourds isolés de poids total inférieur ou égal à 26 tonnes (limite en poids total correspondant aux véhicules à 3 essieux selon l'article R.312-4 du Code de la Route).

Pour modéliser l'effet de la circulation, la charge par mètre linéaire à retenir vaut :

$$\text{Largeur}_{\text{chaussée}} \times a_1 \times a_2 \times A(l).$$

Avec (cf article 4 du titre II fascicule 61 du CPC) :

- - a_1 un coefficient dépendant de la classe du pont et du nombre de voies chargées ;
- - a_2 un coefficient dépendant de la classe du pont et de la largeur effective des voies de circulation ;
- - $A(l)$ une masse au m^2 donnée par la formule $A(l) = 230 + 36000/(L+12)$ avec L la longueur chargée.

Considérons un pont de 1^{ère} classe à 2 voies de 3,5 mètres de large (cas « avec poids lourds »), et un pont de 3^{ème} classe à 2 voies de 3 mètres de large (cas « sans poids lourds »).

- « avec poids lourds »

$$\text{Largeur}_{\text{chaussée}} \times a_1 \times a_2 \times A(l) = (2 \times 3,5) \times 1,0 \times 1 \times A(l) = 7 A(l)$$

- « sans poids lourds »

$$\text{Largeur}_{\text{chaussée}} \times a_1 \times a_2 \times A(l) = (2 \times 3,0) \times 0,8 \times (2,75/3) \times A(l) = 4,4 A(l)$$

d'où une diminution de 37 % de la charge routière de calcul au mètre linéaire de tablier.

Le gain à attendre sur la structure est moindre dans la mesure où il convient de prendre en compte également les charges permanentes.

On considère un pont dalle en béton armé de 28 mètres (longueur moyenne du parc) à 2 travées de 14 mètres de long et de 10 mètres de large (largeur classique correspondant à un sens de 2x2 voies) dans la configuration « avec poids lourds » et de 9 mètres de large dans la configuration « sans poids lourds ».

Pour 2 travées chargées A(l) vaut : 1,13 t/m²

Si l'on considère un poids des équipements, du trottoir et de l'enrobé de 0,35 t/m², alors la charge totale par m² ramenée au m² de structure vaut :

- « avec poids lourds » : $0,35 + 1,2 \times [(2 \times 3,5) \times 1,0 \times 1 \times 1,13]/10 = 1,3 \text{ t/m}^2$
- « sans poids lourds » : $0,35 + 1,2 \times [(2 \times 3,0) \times 0,8 \times (2,75/3) \times 1,13]/9 = 1,0 \text{ t/m}^2$

Soit un gain de plus de 22 % sur l'effet des charges supportées par m² de structure.

Un gain de l'ordre de 15 % sur la structure est donc envisageable pour le tablier.

Cas des ouvrages dimensionnés pour les charges militaires

Dans ce cas, pour la plupart des ouvrages, les réductions de capacité portante deviennent nulles ou faibles.

Elles sont négligées.

Exemple détaillé

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires :

L'exemple cité ci-dessus a fait l'objet de calculs détaillés dans le cas d'un ouvrage ne supportant pas de charge militaire.

Les calculs ont été menés avec le programme type PSIDA du Sétra en considérant de plus deux trottoirs. Ce programme donne automatiquement les quantités d'aciers à mettre en place.

Dans le cas « avec poids lourds » l'éclatement retenu vaut 1/22 soit 65 cm d'épaisseur pour la dalle. On obtient 20,189 tonnes d'aciers.

Dans le cas « sans poids lourds » conformément aux conclusions du paragraphe précédent l'épaisseur a été réduite à 55 cm.

On obtient les quantités suivantes :

	Avec poids lourds	Sans poids lourds	écart
POIDS TOTAL DES ACIERS	20.189 T	16.426 T	-19 %
BETONS	188. M3	143. M3	-24 %
COFFRAGES	340. M2	302. M2	-18 %

Tableau 23 : quantité de matériau pour ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires

Dans cet exemple, les économies évoquées aux paragraphes II.1 et II.2 ont été prises en compte simultanément, à savoir, réduction du profil (- 1 mètre de largeur) et réduction de la capacité portante (- 15 % sur l'épaisseur).

Selon les conclusions générales du paragraphe II.1 et II.2 l'économie devrait donc être de

$$1 - (0,91 \times 0,85) = 22 \% \text{ sur le tablier.}$$

Le tableau ci-dessus confirme donc cet ordre de grandeur.

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires

Dans cet exemple, si l'ouvrage est dimensionné pour une charge militaire, aucune réduction de la capacité est possible.

Conclusion pour la capacité portante

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires :

En considérant un gain de 14 % et que la structure du tablier représente 50 % du coût de l'ouvrage, on obtient une économie de 7 % sur l'ouvrage.

Ces économies s'appliquent à l'élément fonctionnel « viaduc », et aux ouvrages d'art des éléments fonctionnels « échange », « rétablissement routier », « rétablissement autre que routier ».

Cas des ouvrages dimensionnés pour les charges militaires

Économies négligeables.

2.3 - Influence de la prise en compte des poids lourds sur la résistance à la fatigue des ouvrages

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires

En plus du renforcement de la structure nécessité par le passage des poids lourds (développé au § III.2 ci-avant), il convient de prendre en compte le phénomène de fatigue sous le passage répété de poids lourds pour les ouvrages métalliques et mixtes. Ce phénomène peut amener à épaissir certaines tôles.

Le document « Ponts métalliques et mixtes - résistance à la fatigue - guide de conception et de justification » Sétra-SNCF-CTICM de mai 1996 indique page 36 que la prise en compte de la fatigue pour un ouvrage de dimension moyenne supportant un trafic de type route nationale, peut conduire à augmenter d'environ 20 % l'épaisseur des semelles inférieures en travée et des semelles supérieures dans les zones proches des foyers.

Conformément au document du Sétra d'octobre 1985 « Ponts mixtes acier-béton bipoutres : Guide de conception » (page 79) on considère que les membrures représentent 65 % du tonnage d'acier (hors prise en compte de la fatigue).

On considère que les renforts des membrures dus à la fatigue ne concernent que 50 % de leur longueur.

On obtient une majoration de $20 \% \times 60 \% \times 50 \% = 6 \%$ du tonnage d'acier de charpente dû à la prise en compte du phénomène de fatigue.

Soit, sur la base de 300 kg/m^2 , une augmentation de 18 kg/m^2 , soit environ 36 euros HT/m^2 .

Ceci conduit à une augmentation de $36/2000 = 1,8 \%$.

Par ailleurs, les surfaces d'ouvrages métalliques et mixtes représentent 53,2 % des surfaces d'ouvrages actuellement construites. Ramené à l'ensemble des ouvrages neufs, le surcoût devient alors 1 %.

Cas des ouvrages dimensionnés pour les charges militaires

La prise en compte de charges militaires peut conduire à sur-dimensionner les ouvrages indépendamment de la prise en compte de la fatigue, il en résulte des réserves disponibles pour cet aspect.

Le surcoût diminue dans une proportion non connue. Par simplification on le néglige.

Conclusion pour la fatigue

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires

Le surcoût dû à la prise en compte de la fatigue vaut 1 %. Ce surcoût s'applique à l'élément fonctionnel « viaduc », et aux ouvrages d'art des éléments fonctionnels « échange », « rétablissement routier », « rétablissement autre que routier ».

Cas des ouvrages dimensionnés pour les charges militaires

Le surcoût est négligé.

2.4 - Conclusion sur l'influence de la prise en compte des poids lourds dans les coûts d'investissement

Ces conclusions ne concernent :

- que le trafic poids lourd actuel, et ne prend pas en compte une éventuelle augmentation du tonnage et/ou du nombre des poids lourds ;
- que les ponts, et ne prend pas en compte l'influence des poids lourds pour les tunnels.

D'autres postes marginaux d'économies potentielles existent : résistance des piles aux chocs, dimensionnement des joints de chaussée, etc., et n'ont pas été pris en compte.

Cas des ouvrages non dimensionnés pour les charges militaires

Il ressort de l'approche précédente qu'une économie de $1 - (0,91 \times 0,93 \times 0,99) = 16 \%$ arrondi à **15 %** sur le coût d'investissement des ouvrages d'art est possible si l'on ne prend pas en compte les poids lourds.

Ces économies s'appliquent à l'élément fonctionnel « viaduc », et aux ouvrages d'art des éléments fonctionnels « échange », « rétablissement routier », « rétablissement autre que routier ».

Cas des ouvrages dimensionnés pour les charges militaires

Pour ces ouvrages les économies deviennent négligeables, sauf si l'on considère que des voies de 3 m sont acceptables. L'économie vaut alors 5 %.

3 - Entretien et réparation

3.1 - Définitions

L'entretien spécialisé selon « l'Instruction technique du 19 octobre 1979 pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art révisée le 26 décembre 1995, concerne :

- les opérations relevant de techniques spéciales (remise en état ou changement des appareils d'appui, changement des joints de chaussée et de leurs accessoires, réfection des chapes d'étanchéité, réfection des couches de roulement, remise en peinture partielle d'ouvrages métalliques, etc. ;
- les opérations nécessitant des moyens particuliers : passerelles, etc.

Selon cette même instruction on appelle réparation toute opération consistant à remettre partiellement ou totalement un ouvrage dans son état de service.

Ces opérations d'entretien et de réparations sont dues à différentes causes qui peuvent être ou non liées au passage des poids lourds.

3.2 - Différentes causes d'interventions (liste non exhaustive)

Vieillessement des matériaux

Pour les ponts en béton, la formulation du béton est déterminée de telle sorte que les épaisseurs de béton entourant les aciers (enrobage) soient suffisantes pour assurer leur protection pendant 100 ans (absence de corrosion provoquant par des épaufures du béton et nécessitant des ragréages). Vis-à-vis de cet aspect, l'influence du passage de camions sur l'ouvrage n'est pas nul, mais n'est pas quantifiable. Il est négligé ici.

Fatigue des ouvrages métalliques et mixtes

Pour les ouvrages métalliques qui sont sensibles au phénomène dit de « fatigue » lorsqu'ils sont soumis à un grand nombre de passages de poids lourds, des dispositions constructives particulières et des épaissements de tôles peuvent s'avérer nécessaires pour autoriser le passage de camions lourds pendant 100 ans. Pour les grands axes on dimensionne les ouvrages pour supporter 100 000 000 de passages d'un camion lourd théorique représentatif des camions réels.

La non-prise en compte lors de la conception du phénomène de fatigue peut occasionner des interventions lourdes et a conduit récemment à remplacer des ouvrages autoroutiers.

A contrario, si ce phénomène est pris en compte à la conception et que l'agressivité du trafic n'évolue pas, il n'y a pas de désordres à attendre.

Ouvrages en maçonnerie

Les ouvrages en maçonnerie font l'objet principalement de rejointoiements et de travaux d'étanchéité qui ne sont pas liés au passage des poids lourds.

Par contre, l'élargissement des voies de circulation imposé par le passage des poids lourds qui a souvent été réalisé par réduction des largeurs de trottoirs amène les camions à circuler plus près des tympans. Ceci a occasionné des désordres sur de nombreux ouvrages et a conduit à des renforcements par enserrément.

Équipements

Le remplacement des joints de chaussée concerne un pourcentage important des opérations d'entretien. La cause de ces remplacements peut être entièrement imputée aux poids lourds.

Chaussée

La réfection des chaussées et des étanchéités peut être entièrement imputée aux poids lourds.

Appareils d'appui

Le remplacement des appareils d'appui concerne également un pourcentage important des opérations d'entretien. Ces remplacements sont dus à un vieillissement des matériaux, accéléré par le passage des poids lourds, mais dans une proportion non quantifiable.

L'influence des poids lourds sur le remplacement des appareils d'appui sera négligée ici.

Autres opérations d'entretien ou de réparation

D'autres opérations importantes d'entretien ou de réparation relatives aux ouvrages d'art ne sont pas imputables au passage de poids lourds : remise en peinture des ouvrages métalliques, réparations dues à des insuffisances de conception, etc.

3.3 - Conclusion sur les coûts d'entretien et de réparation des ouvrages

Une part des coûts d'entretien et de réparation est imputable au passage des poids lourds, mais cette proportion est difficilement quantifiable du fait de la diversité des cas.

Annexe 3 - Imputation des coûts de construction d'une route neuve

La question de l'imputation des coûts de construction des routes est largement abordée dans la littérature économique qui met généralement en avant la difficulté de trouver un mode de répartition des charges juste et acceptable pour les différents usagers de la route. Le calcul de coefficients d'imputation des charges d'investissement routier est donc un sujet qui fait débat et qu'il est très délicat d'aborder.

Dans l'étude ici présentée, les impacts des PL en termes de coûts de construction portent sur différents postes de dépenses avec des logiques différentes. Ainsi, sur les structures de chaussées, il faudra tenir compte de la fatigue de la structure qui est fonction du passage des PL et de leur agressivité tandis que sur les ouvrages d'art, il faudra prendre en compte les charges maximales attendues pour dimensionner l'ouvrage, la fatigue intervenant en deuxième ordre. Pour l'assainissement, les surcoûts seront liés à la dangerosité des matières transportées par les PL, ce qui est encore différent. De plus, les choix sur certains postes sont liés à ceux réalisés sur d'autres postes : le choix de structure de chaussée dépend du choix de couche de forme qui fait partie des terrassements et vice-versa, de sorte qu'il est quelquefois impossible de considérer les effets de manière isolée.

Dans ce contexte, il est très difficile d'adopter une démarche d'imputation unique ou de multiplier les cas d'étude. La méthode proposée dans le rapport pour imputer les charges d'infrastructure est dérivée de la méthode incrémentale (dont les résultats sont détaillés plus bas) qui consiste à classer les PL en fonction d'un critère de « responsabilité croissante dans le surdimensionnement de la route » (en général l'agressivité ou au moins la charge à l'essieu) puis à chiffrer le coût d'une route sans PL, d'une route avec les PL de responsabilité moindre et ceux de responsabilité moyenne et ainsi de suite jusqu'à obtenir une route avec tous les PL observés sur une route réelle. Tous les surcoûts doivent ensuite être chiffrés et imputés aux PL qui viennent d'être introduits, en fonction de leur nombre. Une telle méthode conduit à imputer les chaussées de façon plus importante aux petits PL qu'aux gros car il existe des surcoûts importants sur les routes à l'introduction du premier PL, ce qui semble absurde et injuste. On se rend donc compte que la méthode est difficilement directement utilisable.

La méthode proposée est donc une variante de la méthode incrémentale. Elle consiste à prendre un point de vue inverse : il faut considérer une route standard avec le volume total de PL observé et la structure de trafic associée en termes de silhouettes représentées. Les PL sont ensuite classés au regard de leur agressivité globale. Il faut savoir qu'un tel classement est en soi une nouveauté dans ce type d'étude où l'on considère habituellement les PL au regard de leur charge à l'essieu, en tenant compte du nombre d'essieux mais en négligeant leur position relative sur le PL, de sorte que l'on ne tient pas compte de phénomènes importants de fatigue imposés par certains PL où les ensembles d'essieux créent des déformations successives sur la structure de chaussée, ce qui conduit à l'endommager fortement. Ensuite, à partir de cette route standard, on retire les PL les plus agressifs en les remplaçant par des PL d'agressivité moyenne de sorte à conserver le même volume total de PL et la même répartition de trafic entre les véhicules encore présents. On impute les économies ainsi réalisées aux PL retirés. Puis, on retire les PL d'agressivité moyenne et maximale et on impute les économies ainsi réalisées aux PL d'agressivité moyenne et d'agressivité maximale au prorata de leur part de trafic observée. Et ainsi de suite, jusqu'à imputer les coûts de la construction de la route dimensionnée pour VL à tous les usagers de la route au prorata du seul trafic et en tenant compte d'un usage relatif PL/VL de la route lié à l'encombrement sur la longueur des véhicules. Ce coefficient est pris égal à 2,5 : c'est le coefficient d'équivalence PL/VL utilisé dans les courbes temps-débit pour représenter l'écoulement du trafic sur une route.

Afin de mieux évaluer l'influence de ce choix d'imputation par rapport à d'autres méthodes connues, il a été décidé d'effectuer des tests de sensibilité de l'imputation à la méthode retenue. Ces tests ont été réalisés sur l'imputation du poste « structure de chaussée plus couche de forme », l'ensemble représentant un ensemble logique du point de vue des choix techniques et constituant le poste le plus discriminant du point de vue de l'imputation VL/PL. Dans ce rapport précédent, les coefficients d'imputation issus de cette analyse sur la structure de chaussée et la couche de forme ne sont pas directement donnés puisqu'on donne les coefficients

pour la chaussée et les terrassements. Mais le calcul de ces coefficients dans le cas d'une structure de chaussée bitumineuse et en respectant les hypothèses précédemment exposées conduit aux résultats suivants :

Usager	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Coefficient	1	18	28	44

Tableau 24 : coefficients d'imputation pour une structure de chaussée bitumineuse et sa couche de forme

Nous allons maintenant comparer ces résultats avec ceux que nous obtiendrions en appliquant d'autres méthodes d'imputation.

Nous examinons en premier lieu la méthode incrémentale. Celle-ci consiste à classer comme nous l'avons fait les usagers en fonction d'un critère de « responsabilité croissante dans le surdimensionnement de l'infrastructure » (ici l'agressivité). On aboutit alors à la constitution des classes VL, PL1, PL2 et PL3. Ensuite, on utilise la méthode suivante :

- le coût d'une structure pour VL est examiné, il est partagé entre VL ;
- on introduit des PL1. Le surcoût observé est imputé aux PL1 ;
- on introduit des PL2. Le surcoût observé est imputé aux PL2 ;
- on introduit des PL3. Le surcoût observé est imputé aux PL3.

Les résultats numériques auxquels on aboutit sont les suivants, pour une structure bitumineuse :

Usager	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Coefficient	1	74	43	18

Tableau 25 : coefficients d'imputation pour une structure de chaussée bitumineuse et sa couche de forme Méthode Incrémentale

Cette méthode aboutit à des résultats contraires à la volonté de faire supporter aux PL les plus responsables (les PL3) une part plus importante des coûts. En fait, cette méthode conduit à faire supporter exclusivement aux PL1 des surcoûts liés en réalité à la présence de tous les PL. Par exemple, les PL1 devront supporter les surcoûts liés à l'élargissement des chaussées. De plus, elle est très sensible aux volumes de PL dans chaque classe et comme les rendements de la courbe des coûts par rapport au volume de trafic sont croissants, plus il y a de trafic dans une classe, plus les coûts sont partagés. Finalement cette méthode ne peut convenir.

- ensuite, nous souhaitons examiner la méthode de Shapley qui propose de pallier le problème de l'ordre d'introduction des différentes classes de véhicules et donc de faire en sorte que les coûts bénéficiant à tous les PL soient supportés par tous. Cette méthode, largement proposée par la littérature scientifique sur l'imputation de coûts fixes, est dérivée de la théorie des jeux ; elle vise à répartir les coûts de construction de manière optimale entre les classes d'usagers en s'appuyant sur l'analyse des coalitions possibles entre ces classes. En pratique, cette méthode d'imputation consiste à chiffrer le coût de construction de l'ensemble « structure de chaussée + couche de forme » pour tous les scénarios liés aux permutations sur l'introduction des quatre classes VL, PL1, PL2 et PL3. Finalement, les résultats obtenus conduisent à affecter à l'ensemble des VL, des PL1, des PL2 puis des PL3, des coûts croissants, ce qui n'était pas forcément le cas dans la méthode incrémentale où l'ensemble des PL1 devaient supporter un coût plus élevé que l'ensemble des PL2 ou des PL3. Mais comme la population dans chaque classe est loin d'être comparable, on aboutit à des incohérences lorsqu'on cherche à imputer ces volumes à chaque véhicule : les VL payent très peu car ils sont très nombreux, à l'inverse les PL2 doivent payer individuellement un prix plus élevé que les PL3 car ils sont sous-représentés en comparaison. Les résultats obtenus dans le cas de la chaussée bitumineuse sont ici résumés :

Usager	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Coefficient	1	103	229	115

Tableau 26 : coefficients d'imputation pour une structure de chaussée bitumineuse et sa couche de forme Méthode dite de Shapley

Finalement, cette solution ne paraît pas juste et acceptable si on l'applique de la sorte. La transposition de la théorie des jeux coopératifs au cas routier s'adapte mal, les classes de véhicules définies ne constituant pas des entités libres de coopérer ou non en vue de construire l'infrastructure routière. Si on souhaitait utiliser une telle méthode, une solution pourrait être de considérer chaque véhicule de manière isolée (pour s'affranchir du problème des classes) mais cela complique considérablement le procédé, d'autant plus qu'il n'est pas possible de chiffrer l'incidence d'un PL isolé sur le dimensionnement de la structure de chaussée. Nous avons donc abandonné cette solution.

- enfin, nous souhaitons comparer nos résultats avec ceux que l'on obtiendrait en appliquant la méthode de la Federal Highway Administration aux Etats-Unis. Cette méthode consiste à chiffrer le coût de construction d'une chaussée pour VL et celui d'une chaussée supportant tout le trafic observé en moyenne. Ensuite, les surcoûts liés à l'introduction des PL sont imputés aux différentes classes de PL au prorata de leur population et de « ESAL » pour Equivalent Single-Axle Loads, c'est-à-dire de leur agressivité relative à celle de l'essieu standard américain. Afin de pouvoir complètement comparer cette méthode à la nôtre, nous avons imputé de la sorte l'ensemble des coûts « structure de chaussée + couche de forme » et nous avons retenu pour l'agressivité, l'agressivité du PL entier relative à l'essieu standard français comme nous l'avions fait initialement pour classer les différents types de PL. Nous avons ensuite retenu pour chaque classe une agressivité moyenne en fonction de l'agressivité des différentes silhouettes et au prorata de leur population (comme pour l'imputation de l'entretien structurel). Cette méthode conduit à obtenir des résultats du même ordre de grandeur que ceux obtenus avec la méthode proposée dans le rapport. Toutefois, il faut noter que la méthode américaine conduit à écarter fortement les coefficients d'imputation des petits PL par rapport à ceux des gros PL :

Usager	VL	Classe 1 PL	Classe 2bis PL	Classe 3bis PL
Coefficient	1	4	19	51

Tableau 27 : coefficients d'imputation pour une structure de chaussée bitumineuse et sa couche de forme Méthode Federal Highway Administration (FHIA)

Finalement, l'équivalence des ordres de grandeur est satisfaisante. En ce qui concerne l'écart des coefficients entre PL1 et PL3, il faut savoir que celui-ci est accentué par la méthode du calcul des agressivités retenues qui consiste à tenir compte de l'effet des essieux tridem, ce qui conduit globalement à avoir une agressivité moyenne élevée pour la classe PL3. Sans tenir compte de la présence de ce type d'essieux, on pourrait s'attendre à avoir vraisemblablement un coefficient plus bas. De plus, cette méthode FHA conduit à imputer des coûts du type élargissement des voies en fonction du critère d'agressivité, ce qui n'est pas forcément pertinent : ceci explique entre autres la faiblesse du coefficient de la classe PL1.

Finalement, la méthode retenue présente les avantages et inconvénients présentés ci-dessous :

- elle permet de répartir entre tous les PL les surcoûts liés à l'introduction du premier PL. En effet, entre le scénario sans PL et celui où circulent les « petits PL », les coûts tiennent compte de l'élargissement des voies par exemple, qui bénéficie ensuite à tous les PL. Ce surcoût est ici bien imputé à tous les PL au prorata de leur part de trafic. Cette remarque reste valable si on analyse ce qui se passe sur les structures de chaussées : en introduisant de nouveaux PL, on augmente l'épaisseur et la qualité des couches de structure, ce qui bénéficiera à tous les véhicules lourds qui seront introduits ensuite sans pour autant être nécessaire aux véhicules légers déjà présents sur la chaussée ;
- la prise en compte d'un volume total de PL constant dans tous les scénarios permet de s'affranchir en partie de l'effet de volume pour ne mesurer que l'effet de la silhouette. Ceci semble nécessaire dans la mesure où les coûts économisés sont imputés à toutes les catégories de PL retirées. De plus, si l'on ne garde pas un volume global important, on trouve que certaines silhouettes n'induisent pas de surcoûts, non pas parce qu'elles ne sont pas agressives sur la chaussée, mais parce qu'elles sont en trop petit nombre ;
- cette méthode d'imputation reste sensible à la permutation des scénarios envisagés et à l'ordre de retrait des différentes catégories de PL mais nous avons vu plus haut qu'il semble difficile d'appliquer une méthode insensible aux permutations de type Shapley qui préconise d'utiliser la méthode incrémentale en permutant l'ordre d'introduction des catégories de véhicules puis de faire la moyenne sur les surcoûts observés dans les différentes permutations ;

- cette méthode est adaptable aux cas où les catégories de PL doivent être définies de manière différente. Par exemple, on peut la conserver dans le cas des ouvrages d'art où l'on considère dans la doctrine technique française deux catégories de PL : les moins de 26t et les plus de 26t. La première catégorie correspond ensuite aux deux premières classes considérées pour les structures de chaussée. Ainsi, le raisonnement peut être facilement décliné ;
- cette méthode reste valable pour les postes de dépenses sur lesquels les PL sont considérés dans leur ensemble et où l'on chiffre seulement le surcoût des PL par rapport aux VL ;
- cette méthode ne permet pas de tenir compte de l'éventuel surcoût lié à la présence de VL sur les routes (on trouve dans la littérature le problème des surcoûts de capacité liés plus aux VL qu'aux PL) mais les PL bénéficient aussi de cette capacité.

Annexe 4 - Liste des personnes et institutions rencontrées ou ayant participé à l'étude

Étude technique sur l'incidence du trafic PL sur les coûts des divers éléments de la route :

- Sétra\Cstr\Direction d'études Techniques de Construction et d'Entretien : Hervé GUIRAUD, Grégoire DURAND, Catherine DROUAUX, Marie-Odile CAVAILLÈS, Pierre DUPONT
- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées : Jean-Maurice BALAY, Michel BRY
- CETE Nord-Picardie : Michel RE COURT
- Sétra\CTOA : Thierry Kretz, Jean-Michel LACOMBE
- Sétra\CSTR\Direction d'études Environnement : Pierrick ESNAULT, Francis BESNARD
- Sétra\CSTR\Direction d'études Programmes d'Infrastructures : Gilles ROUCHON, Martine VERTET
- Sétra\CSTR\Direction d'études Conception et Equipement des Infrastructures : Christine MARCAILLOU
- Sétra\CSTR\Direction d'études Sécurité des Déplacements : François GANNEAU
- Sétra\CSTR\Direction d'études Gestion des Trafics et des Infrastructures : Alain GHISOLI, Frédéric VOISIN, Sébastien WASNER, Sandrine FOURNIS, Rachid SAHALI.

Conseil et relecture méthodologique :

- ENPC : Emile QUINET
- DGR : Olivier QUOY, David GUILLARME, Roger HEUX, Arnaud VOOG, Pierre RIMATTEI
- DGMT : André LEUXE, Marie VILLETTE
- Sétra\CSTR : Floriane TORCHIN, Emilie JEANNESSON-MANGE, Patrice DANZANVILLIERS

En Octobre 2006, la Direction Générale des Routes (DGR) a commandé au Sétra une étude sur l'incidence de la circulation des PL sur les coûts des infrastructures routières afin d'alimenter ses travaux de transposition de la directive 2006/38 (Eurovignette 2). Cette directive vient encadrer les modalités de tarification du réseau routier transeuropéen pour les PL (c'est-à-dire les véhicules de transport de marchandises de plus de 3,5t) en limitant les niveaux moyens de péage aux coûts d'infrastructure engendrés par la circulation des PL. Ces limitations sont précisées dans les annexes de la directive qui devront, soit être transposées en l'état, soit être adaptées à la doctrine de construction des routes du pays, pourvu que celle-ci soit validée par la Commission Européenne.



Rédacteur

Pascaline Cousin – Sétra\CSTR
téléphone : 33 (0)1 46 11 30 45
mél : pascaline.cousin@developpement-durable.gouv.fr

