

VERS UNE GESTION OPTIMALE DE LA VITESSE DANS LES TUNNELS ET SUR LES GRANDS AXES DE LA REGION BRUXELLES-CAPITALE

Rapport technique réalisé à l'intention de la Région Bruxelles-Capitale



mai 2007

Muriel Jadoul
Louis Michiels
An Volckaert

Table des matières

Résumé.....	7
Introduction.....	9
1. Constats principaux concernant les voiries étudiées.....	11
1.1. Mesures débits-vitesses	14
1.1.1. <i>Qualité des données</i>	14
1.1.2. <i>Constats</i>	20
1.1.3. <i>Conclusion</i>	21
1.2. Statistiques d'incidents et accidents	24
1.2.1. <i>Remarques préliminaires</i>	24
1.2.2. <i>Analyse des données pour les tunnels</i>	28
1.2.3. <i>Analyse des données pour les boulevards</i>	34
1.2.4. <i>Conclusion</i>	35
2. Objectifs des politiques de régulation de vitesse.....	36
2.1. Politique de régulation des vitesses.....	37
2.2. Effet sur la sécurité.....	40
2.2.1. <i>Vitesse et champ de vision</i>	40
2.2.2. <i>Vitesse et distance de freinage</i>	41
2.2.3. <i>Vitesse et gravité des accidents</i>	42
2.2.4. <i>Vitesse et probabilité d'accident</i>	43
2.2.5. <i>Dispersion des vitesses et probabilité d'accident</i>	48
2.2.6. <i>Conclusion : une augmentation de vitesse implique directement une baisse de la sécurité</i>	49
2.3. Effet sur la fluidité	50
2.3.1. <i>Capacité théorique des voiries</i>	50
2.3.2. <i>Influence des incidents</i>	55

2.3.3. Temps gagné à une vitesse plus élevée	62
2.3.4. Conclusion : une augmentation de la vitesse implique directement et indirectement une réduction de la fluidité du trafic	63
2.4. Effet sur l'environnement	65
2.4.1. Bruit et pollution sonore	65
2.4.2. Qualité de l'air et pollution atmosphérique.....	69
2.4.3. Conclusion : une augmentation de vitesse contribue directement à élever le niveau de bruit ambiant et indirectement à réduire la qualité de l'air	72
2.5. Effet sur la fonctionnalité de l'espace public	74
2.5.1. Plans régionaux d'aménagement du territoire	74
2.5.2. Spécialisation des voiries.....	75
2.5.3. Amélioration du cadre de vie.....	76
2.5.4. Espaces structurants à intégration environnementale renforcée	76
2.5.5. Renforcement de la fonction de séjour.....	77
2.5.6. Conclusion : une augmentation de la vitesse implique indirectement une détérioration de la fonction de transit et complique le maintien de la fonction de séjour.....	77
3. Facteurs déterminant la vitesse pratiquée.....	78
3.1. Image de la voirie	79
3.1.1. Géométrie	79
3.1.2. Signalisation.....	82
3.2. Comportement des usagers	85
3.2.1. Attitudes et comportement	85
3.2.2. Contrôle et répression.....	86
4. Sécurité dans les tunnels bruxellois	91
4.1. La situation réglementaire	92
4.1.1. Les recommandations de la Commission Européenne.....	92
4.1.2. La directive européenne.....	92
4.2. Constats généraux	94
4.3. Conformité avec la directive européenne.....	96
4.3.1. Objet et champs d'application	96
4.3.2. Mesures de sécurité.....	96
4.3.3. Acteurs.....	96
4.4. L'annexe 1 de la directive - les dispositions applicables pour la sécurité des tunnels bruxellois.....	98
4.5. Conclusion : les tunnels bruxellois ne correspondent pas aux recommandations européennes mais l'adaptation est en cours.....	101
5. Etude de risque	102
5.1. Analyse de risque, l'exemple du CERTU	103
5.2. Facteurs de risque.....	105
5.2.1. Dans les tunnels	105
5.2.2. Sur les grands axes	105
5.3. Risques dans les tunnels.....	107
5.3.1. Remarques générales.....	107
5.3.2. Tunnel Léopold II	109
5.3.3. Tunnels de la petite ceinture	110
5.3.4. Tunnels de l'avenue Louise.....	110
5.3.5. Tunnels de l'axe Tervuren-Loi.....	114
5.3.6. Tunnel Reyers-Centre	114
5.3.7. Tunnels du complexe Reyers.....	117
5.3.8. Tunnels de la grande ceinture.....	117
5.3.9. Tunnel Belliard.....	117

5.3.10. Tunnel Woluwe	121
5.3.11. Tunnel Delta.....	121
5.4. Risques sur les grands axes.....	122
5.4.1. Boulevards Lambermont et Général Wahis.....	122
5.4.2. Boulevards Reyers, Brand Whitlock et Saint Michel.....	126
5.4.3. Boulevards Général Jacques et Louis Schmidt	130
5.4.4. Avenue Charles Quint.....	133
5.4.5. Boulevard de la Woluwe	136
5.5. Résultats de l'analyse de risque	140
6. Stratégies envisageables	144
6.1. Maintien de la situation actuelle.....	145
6.2. Généralisation des limitations à 70 km/h	148
6.3. Généralisation des limitations à 50 km/h	149
6.4. Options techniques en vue d'une meilleure gestion des vitesses.....	153
7. Conclusions	155
8. Bibliographie.....	156
9. Annexes.....	158
9.1. Graphiques de débit et vitesse	159

Résumé

Les limitations de vitesse sont globalement très peu respectées sur les axes étudiés. De nombreux accidents sont liés à une vitesse excessive. En réponse à ces constats, plusieurs stratégies possibles ont été envisagées et évaluées dans le cadre de cette étude.

La première stratégie, celle qui consistait à ne pas intervenir et à maintenir la situation actuelle, est inacceptable : le non-respect généralisé des limitations entraîne un risque d'accident élevé et des effets négatifs en termes de fluidité, d'environnement et de fonctionnalité de l'espace public. Cette stratégie est aussi incohérente : fixer explicitement des limites basses tout en tolérant implicitement des vitesses pratiquées nettement supérieures paraît difficilement justifiable.

La deuxième stratégie envisageait de fixer certaines limitations de vitesse à 70 km/h. Nous avons constaté que des limitations de vitesse fixées à 70 km/h sur les voiries étudiées n'apporteraient globalement que des effets négatifs, du point de vue de la sécurité surtout, mais aussi de la fluidité du trafic, de la qualité de l'environnement et de la fonctionnalité de l'espace public.

Considérant les risques présents, il n'est tout simplement pas admissible de fixer la limitation à 70 km/h sur la plupart des boulevards et des tunnels. Là où cela serait possible, il faudrait encore accompagner ces limitations de mesures de sécurité et de systèmes de gestion des vitesses particulièrement exigeants et contraignants.

La troisième stratégie est celle qui semble la plus adaptée au contexte urbain bruxellois. Nous recommandons l'application stricte du principe général suivant : en agglomération, la vitesse est limitée à 50 km/h sauf lorsqu'une vitesse maximale exceptionnelle de 70 km/h est justifiable. Ces exceptions ne seraient toutefois acceptables que comme mesures transitoires permettant l'instauration d'un meilleur respect des limitations, en attendant la mise en application des mesures d'accompagnement nécessaires pour une réduction des vitesses pratiquées.

En vue de faire évoluer les comportements des usagers vers un respect strict de ce principe général, des mesures importantes doivent être prises au niveau de la sensibilisation, de la prévention, de la répression et de l'aménagement des voiries. Il importe, particulièrement, de faire apparaître dans l'image générale de la voirie la cohérence avec la limitation de vitesse qui y est d'application. Ces investissements à long terme se justifient amplement par les gains majeurs pour la collectivité qu'amènerait une réduction des vitesses pratiquées.

Différentes options techniques semblent prometteuses pour améliorer la gestion des vitesses sur les grands axes bruxellois. Il serait intéressant de réaliser des études approfondies d'applicabilité et de mise en œuvre de ces solutions.

Elles permettraient d'augmenter le niveau de sécurité dans les tunnels et sur les grands axes. Elles offrent également une large flexibilité dans la gestion de la vitesse et des risques associés ainsi que de nombreuses possibilités d'adaptation pour l'avenir.

En conclusion, nous recommandons la mise en œuvre progressive mais volontariste de la stratégie reprise dans la partie 6.3. Il s'agit, à long terme, de généraliser les limitations à 50 km/h.

Dans un premier temps, des exceptions à cette règle générale peuvent être acceptées sous la forme de limitations à 70 km/h telles que décrites dans la partie 6.2, aux endroits où l'étude de risques a montré que c'était possible. Ces exceptions doivent toutefois s'accompagner de conditions de sécurité particulièrement exigeantes (système de détection automatique des incidents, limitations de vitesse variables, contrôle accentué des infractions,...).

Le défi majeur de cette stratégie consiste à faire connaître, comprendre et respecter la règle générale de limitation à 50 km/h sur les axes étudiés. A cet effet, plusieurs mesures doivent être prises simultanément : des mesures d'information et de sensibilisation, des mesures d'aménagements des infrastructures (pour une meilleure cohérence entre l'image de la voirie et la limitation imposée) et des mesures de répression ferme et constante des infractions.

Introduction

Code de la route, art 10.1.1° Tout conducteur doit régler sa vitesse dans la mesure requise par la présence d'autres usagers et en particulier les plus vulnérables, les conditions climatiques, la disposition des lieux, leur encombrement, la densité de la circulation, le champ de visibilité, l'état de la route, l'état et le chargement de son véhicule ; sa vitesse ne peut être ni une cause d'accident, ni une gêne pour la circulation.

Code de la route, art 11.1 Dans les agglomérations, la vitesse est limitée à 50 km à l'heure. Toutefois, sur certaines voies publiques, une limitation inférieure ou supérieure peut être imposée ou permise par le signal C43.

Les grands axes de la Région Bruxelles-Capitale se trouvant en agglomération, la limitation de vitesse y est de 50 km/h, sauf signalisation contraire. Néanmoins, une dizaine de boulevards et avenues de la Région (le Boulevard Léopold III, la route de Lennik, le boulevard de la Woluwe, ...) ainsi que les tunnels Tervuren, Cinquantenaire, Loi et Woluwe sont limités à 70 km/h.

Les limitations de vitesse sur ces grands axes sont peu respectées et souvent jugées inadaptées par les automobilistes. Plusieurs demandes sont apparues ces dernières années, émanant de fédérations automobiles et de représentants politiques locaux, demandant une élévation des limites de vitesse sur certaines voiries de la capitale. Dans le même temps, la tendance générale en Europe et ailleurs est à un abaissement des limitations, dans l'optique d'une réduction généralisée des vitesses

pratiquées et de la mise en place d'habitudes de conduite tendant à un apaisement du trafic routier.

Les limitations de vitesse sur les voiries régionales ont été étudiées en 1991, sur base d'une étude réalisée par Mens & Ruimte. En 1999, à la demande du Ministre de l'époque, la direction Voirie de l'Administration de l'Équipement et des Déplacements a rédigé un arrêté complémentaire de police portant certains tunnels à 70 km/h. Cet arrêté n'a finalement pas reçu l'aval du gouvernement. D'autre part, le Plan Régional de Développement définit les types de voiries et les vitesses qui doivent y être appliquées.

L'objet de cette étude est l'analyse des limitations de vitesses actuellement en vigueur dans certains des tunnels et boulevards bruxellois, des impacts de ces vitesses sur différents aspects du tissu urbain bruxellois. Une analyse approfondie des tenants et aboutissants de la vitesse pratiquée doit permettre d'optimiser les limitations à fixer, d'étudier leurs conséquences probables et de faire des propositions quant à leur mise en application, en objectivant les choix faits et en les justifiant aux yeux de l'opinion publique et des gestionnaires de voirie.

Le but de l'étude est de faire des propositions argumentées pour la définition et la mise en œuvre de limitations de vitesse sur les grands axes et dans les tunnels concernés.

Premièrement, nous passerons en revue les tunnels et axes entrant dans le cadre de l'étude. Nous analyserons les données relatives aux mesures de débit et de vitesse sur ces axes ainsi que les statistiques d'accidents.

La deuxième partie resituera les objectifs à poursuivre par le biais des limitations de vitesse. Nous considérerons quatre conséquences majeures de la vitesse sur le milieu urbain : sécurité, fluidité, environnement et planification des espaces urbains. Ces effets imposent de définir des compromis pour répondre à des objectifs multiples et parfois contradictoires.

Ensuite, dans la troisième partie de l'étude, certains paramètres importants intervenant dans la vitesse réellement pratiquée par les conducteurs seront analysés, en relation avec la vitesse théorique des limitations en vigueur : image de la voirie, attitudes et comportements,...

La quatrième partie passe en revue l'état actuel des aménagements de sécurité dans les tunnels bruxellois. Nous nous intéresserons aussi aux objectifs ambitieux que s'est fixés la région Bruxelles-Capitale en matière de niveau de sécurité de ses tunnels.

Dans la cinquième partie, nous envisagerons les risques réels présents dans les tunnels et sur les grands axes de la région. Nous analyserons l'impact de la vitesse pratiquée sur ces risques et envisagerons la possibilité théorique d'une augmentation de vitesse maximale.

La sixième partie présente trois stratégies envisageables en matière de gestion des vitesses en région Bruxelles-Capitale. Nous recommanderons l'application d'une d'entre elles, associée à des options techniques spécifiques et à des mesures d'accompagnement importantes.

1. Constats principaux concernant les voiries étudiées

L'étude commanditée par la Région Bruxelles-Capitale porte sur les voiries suivantes (représentées à la figure 1) :

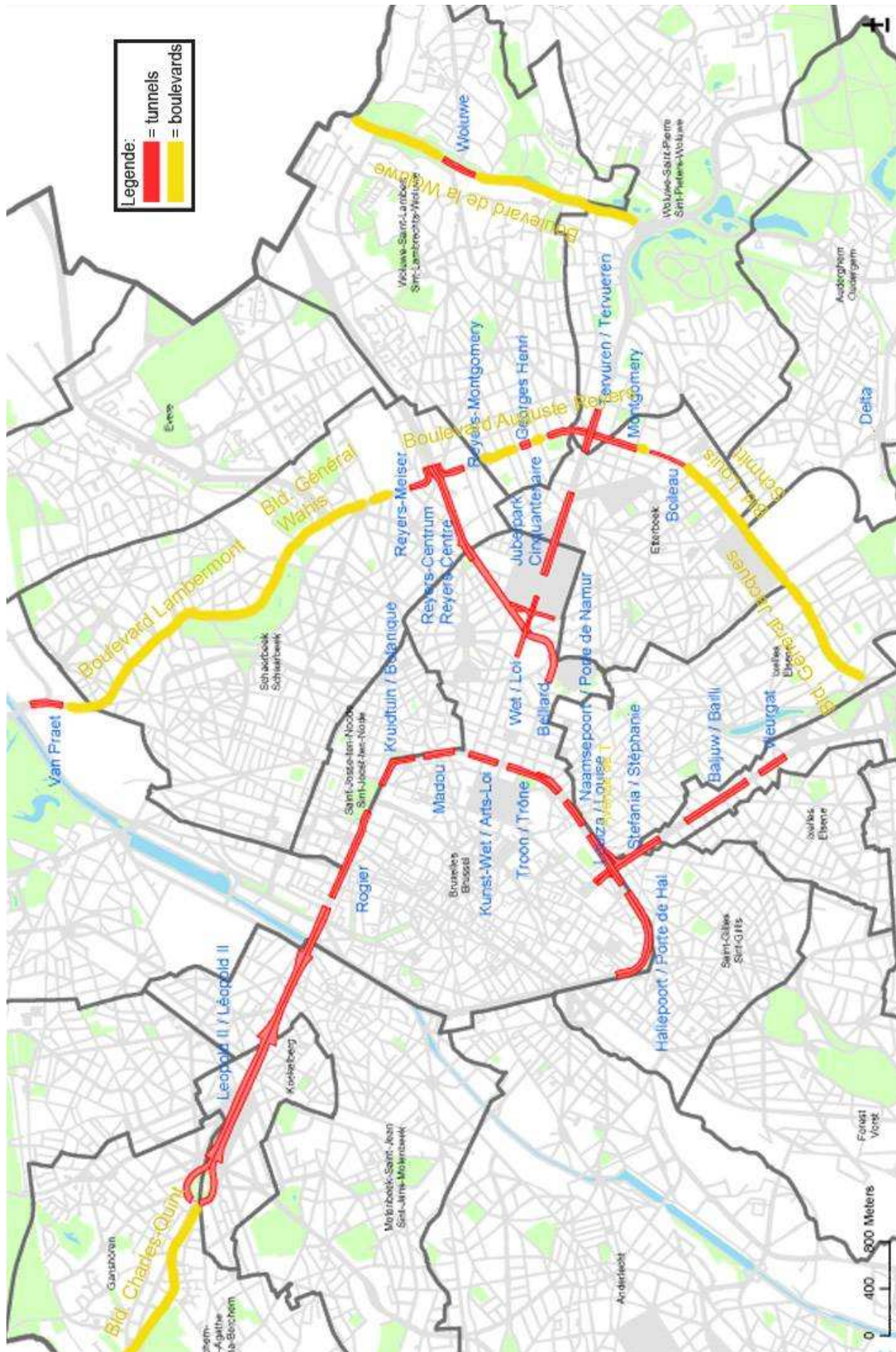
- Les tunnels de la petite ceinture de la place Rogier jusqu'à la Porte de Hal
- Le tunnel Léopold II
- L'avenue Charles-Quint
- Le tunnel Belliard
- Les tunnels du complexe Reyers (Reyers-centre, Reyers-Meiser et Reyers-Montgomery)
- Les tunnels de l'avenue Louise : Stéphanie, Bailli, Vleurgat
- Les tunnels de l'axe Loi – Tervuren : Loi, Cinquantenaire, Tervuren
- Les boulevards et tunnels de la grande ceinture du Pont Van Praet jusqu'au bois de la Cambre
- Le boulevard de la Woluwe et le tunnel associé
- Le tunnel Delta

Initialement, il n'était pas prévu d'intégrer dans l'analyse les tunnels de l'avenue Louise et de l'axe Loi-Tervuren. Ils ont été ajoutés a posteriori pour des raisons de cohérence et de rationalisation.

Nous commencerons par détailler les données disponibles dans le cadre de cette étude :

- Mesures de vitesse et de débit dans les tunnels (Mobiris-Traficon et ACIC) ainsi que relevés de contrôles au radar et des caméras automatiques.
- Statistiques d'accidents et d'incidents (Mobiris, zones de police, Police Fédérale, du Service Public Fédéral Economie, Direction Générale Statistiques et Informations Economiques, anciennement appelé Institut national des Statistiques).

Ces données ont permis de faire une série d'observations et de tirer des constats importants dans le cadre de la gestion de la vitesse en Région de Bruxelles-Capitale.



1.1. Mesures débits-vitesses

Une des sources de données pour les mesures de vitesse et de débit est le large réseau de points de comptages situés dans les tunnels. Vu la quantité de données disponibles par ce biais et la couverture qu'elle offre, il n'a pas été jugé nécessaire, dans un premier temps, de réaliser des mesures supplémentaires.

Les tunnels de la Région Bruxelles-Capitale sont gérés par le centre Mobiris. Ils sont équipés de caméras de comptage qui enregistrent, 24h/24 et 7j/7, les vitesses et débits moyens par minutes, par quarts d'heure ou par heure. Ces données sont archivées et disponibles sur demande sur un serveur au centre Mobiris. Ce système n'a pas été conçu initialement pour réaliser des mesures précises de la vitesse des véhicules : il est capable de détecter les formes du trafic (circulation fluide, congestionnée,...) mais n'a pas pour mission première de mesurer précisément les vitesses.

Les caméras permettent, à l'aide d'un logiciel de traitement d'images, de calculer le débit de véhicules et leur vitesse moyenne sur des durées d'une minute, un quart d'heure ou une heure. Les données sont donc présentées comme des séries temporelles de débits et de vitesses moyennes pour chaque caméra.

Les caméras sont généralement situées aux entrées et sorties de tunnel ainsi qu'en milieu pour les tunnels plus longs. Etant donné que certaines de ces caméras sont défectueuses et que certaines données étaient redondantes, on a le plus souvent choisi d'analyser de manière approfondie les résultats fournis par une seule caméra par sens de circulation dans chaque tunnel.

Certains tunnels ne sont pas équipés de ce système de comptage : les tunnels Belliard, Reyers-Centre et Léopold II. Pour pallier ces manques, un contrat a été passé avec une société spécialisée pour la mesure de différents paramètres de vitesse et débit en ces endroits.

1.1.1. Qualité des données

Des mesures complémentaires ont donc été demandées à une entreprise spécialisée, ACIC. Cette société a réalisé des mesures à l'aide d'un dispositif mobile fixé sur de simples caméras de vidéosurveillance (ne servant habituellement pas au comptage mais pouvant être utilisées à cet effet moyennant un traitement informatique des images) dans les tunnels Belliard, Reyers-Centre et Léopold II (dans les deux sens de circulation). Ces emplacements ont été choisis dans l'optique de compléter par des mesures ponctuelles mais représentatives les manques de données dus à l'absence de caméras en ces endroits.

En profitant d'interruptions planifiées du trafic dans les tunnels, le système mobile de la société ACIC a donc été mis en place successivement à chaque point de mesure,

puis retiré une fois les mesures effectuées. Les mesures couvraient chaque fois plusieurs jours, aussi bien des jours de semaine que du WE (le plus souvent trois jours, du jeudi au samedi), afin de garantir la plus grande représentativité possible pour un temps de mesure limité.

- *Comparaison des mesures ACIC et Mobiris*

Pour pouvoir vérifier la cohérence des résultats obtenus par chaque système de mesure, nous avons réalisé une série de mesures de vitesse et de débit dans le tunnel Arts-Loi, avec les deux systèmes simultanément.

Un premier constat est immédiat : une différence importante apparaît entre les mesures de vitesse par les deux systèmes, dans les deux directions de circulation (cfr figures 2 et 4). Les mesures de débit semblent plus cohérentes (figures 3-5).

Plusieurs phénomènes apparaissent. Dans la direction de la Basilique, les vitesses dans les deux séries de mesures coïncident à peu près à certains moments mais divergent brusquement à d'autres heures de la journée. Il pourrait s'agir d'un problème dû aux changements de la luminosité au cours de la journée (qui serait bien pris en considération par le traitement du système ACIC, selon ses concepteurs, mais pas par celui de Mobiris).

Dans la direction du Midi, la différence de vitesses varie dans le temps, selon les moments de la journée et semble évoluer selon l'ordre de grandeur des vitesses mesurées. Elle est en général de l'ordre de 10 à 20 km/h dans la gamme des vitesses élevées, en régime fluide, mais elle diminue fortement, jusqu'à ce que les séries de vitesse coïncident, pour la gamme de basses vitesses en régime congestionné. On remarque que les deux courbes suivent une évolution parallèle : la variation relative des vitesses semble bien représentée, même si une erreur est présente dans la détermination de la vitesse dans l'absolu.

Les sources et la configuration des erreurs présentes semblent variables selon les caméras étudiées.

Sur base de ces premiers résultats de comparaison, il est impossible de déterminer quel système de mesure fournit des résultats plus proches des vitesses réelles. Pour ce faire, des mesures supplémentaires ont été effectuées : nous avons voulu confronter les mesures de vitesses des deux systèmes à celles réalisées simultanément à l'aide d'un radar de la police (dont nous savons par ses conditions d'étalonnage que le taux d'erreur est inférieur ou égal à 1 %).

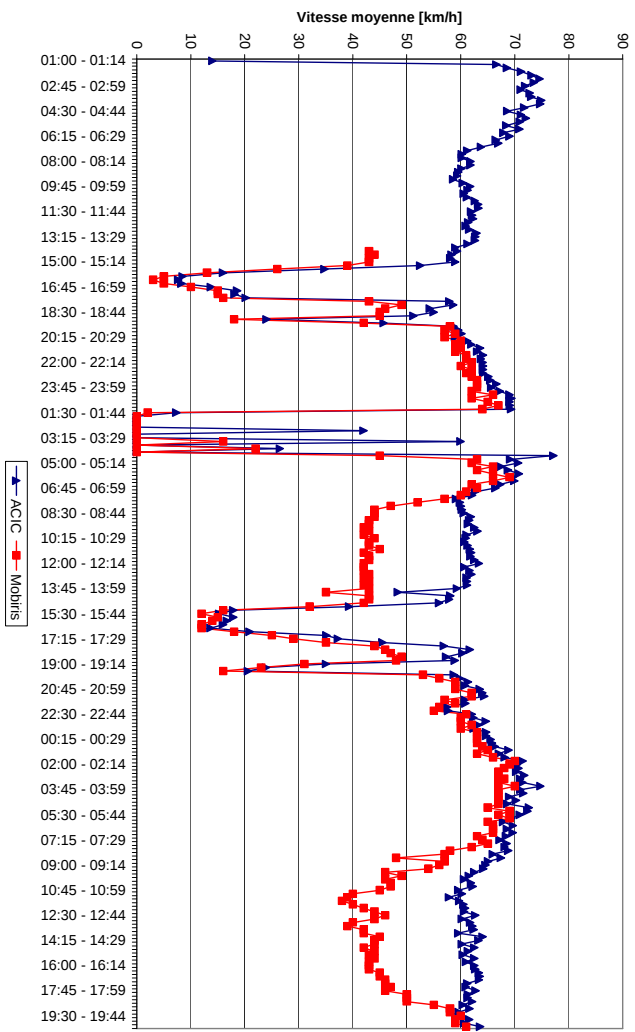


Figure 2 : vitesse moyenne dans le tunnel Arts-Loi, direction Basilique du jeudi 21 au samedi 23 septembre 2006

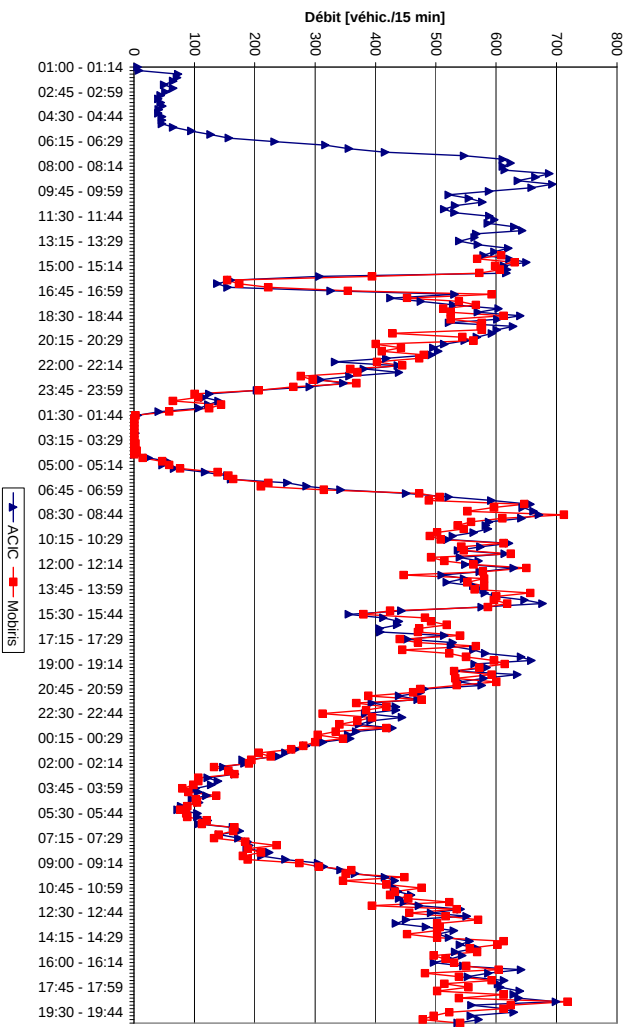


Figure 3 : mesures de débit dans le tunnel Arts-Loi, direction Basilique du jeudi 21 au samedi 23 septembre 2006

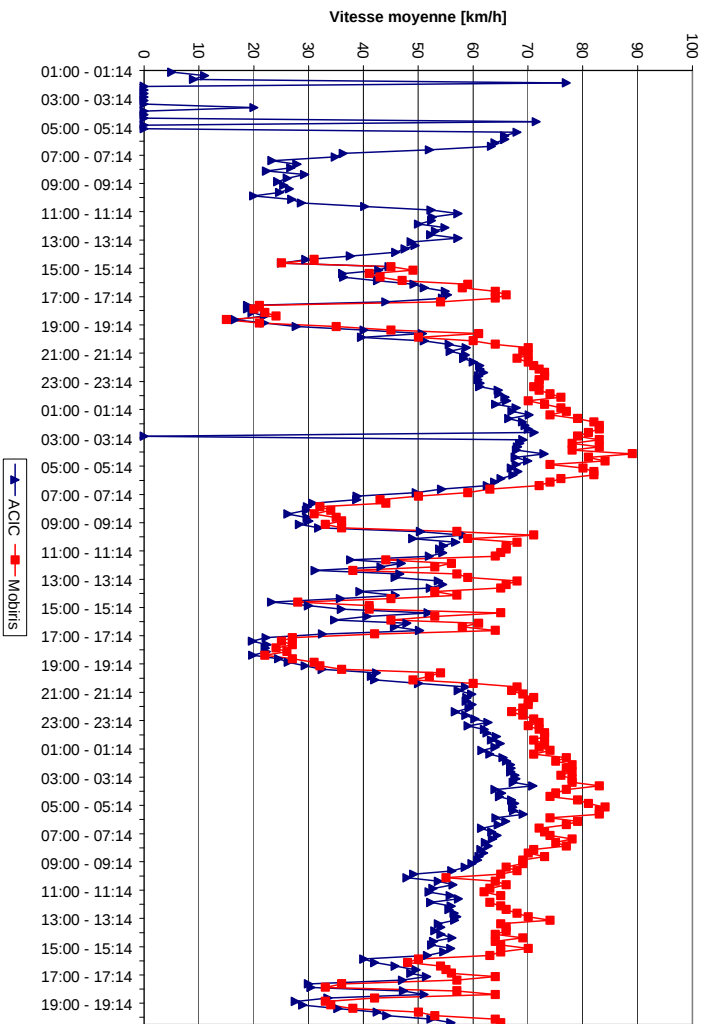


Figure 4 :
mesures de vitesse dans le tunnel Arts-Loi, direction Midi
du jeudi 21 au samedi 23 septembre 2006

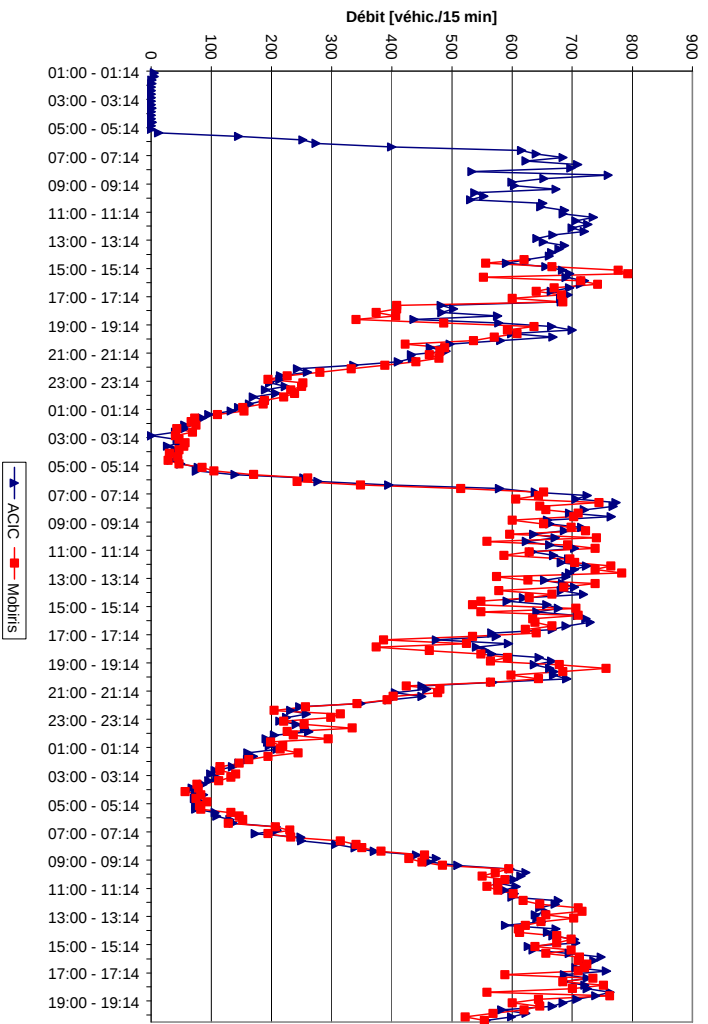


Figure 5 :
mesures de débit dans le tunnel Arts-Loi, direction Midi
du jeudi 21 au samedi 23 septembre 2006

- *Comparaison des mesures ACIC et Mobiris avec le radar de la police*

Avec la collaboration de la zone de police de Bruxelles-Ixelles, nous avons relevé manuellement le débit et mesuré les vitesses instantanées des véhicules à la sortie du tunnel Louise, dans la direction Nord, pendant 50 minutes le 13 décembre 2006. En parallèle, des mesures de vitesses étaient réalisées au même endroit par le système Mobiris et le système mobile ACIC qui y avait été installé.

Une fois encore, les mesures relèvent des différences importantes entre les systèmes utilisés, surtout pour les mesures de vitesse.

Les résultats de ces mesures (figures 6 et 7) permettent de constater à première vue que les vitesses mesurées par le système ACIC sont beaucoup plus proches des vitesses mesurées au radar que celles mesurées par le système Mobiris. Pour les mesures de débit, les deux séries semblent relativement proches du comptage manuel.

Nous pouvons constater que l'erreur varie entre les points de mesure : il paraît impossible de mettre en évidence une tendance uniforme du système Mobiris à surestimer ou sous-estimer les vitesses plus proches de la réalité mesurées par le système ACIC.

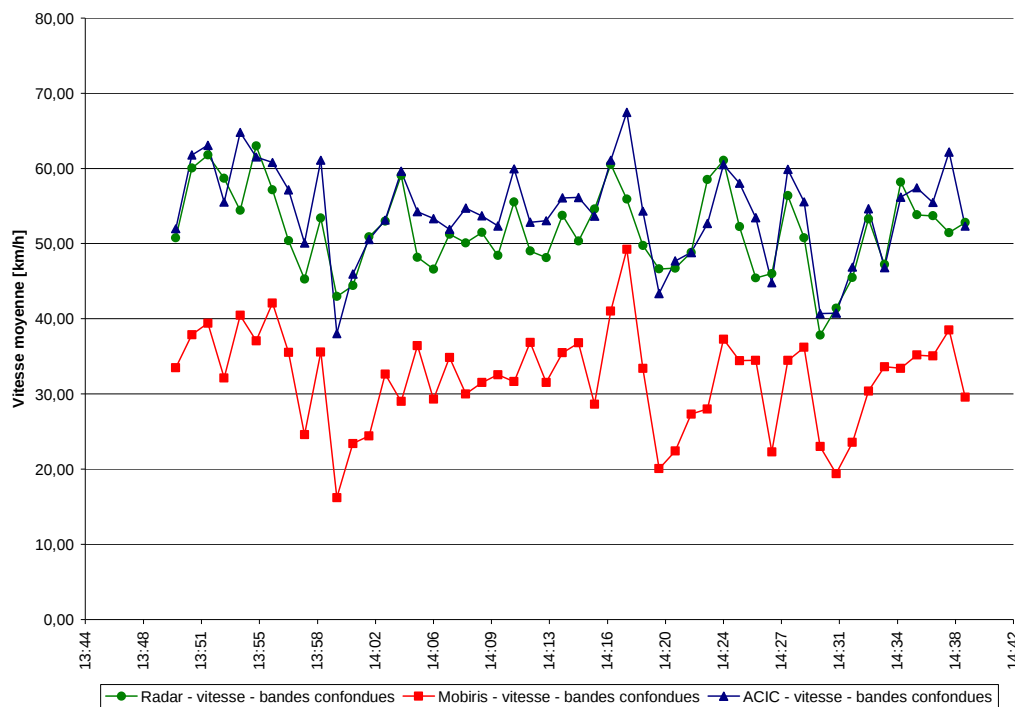


Figure 6 : mesures de vitesse dans le tunnel Louise, direction Nord le mercredi 13 décembre 2006

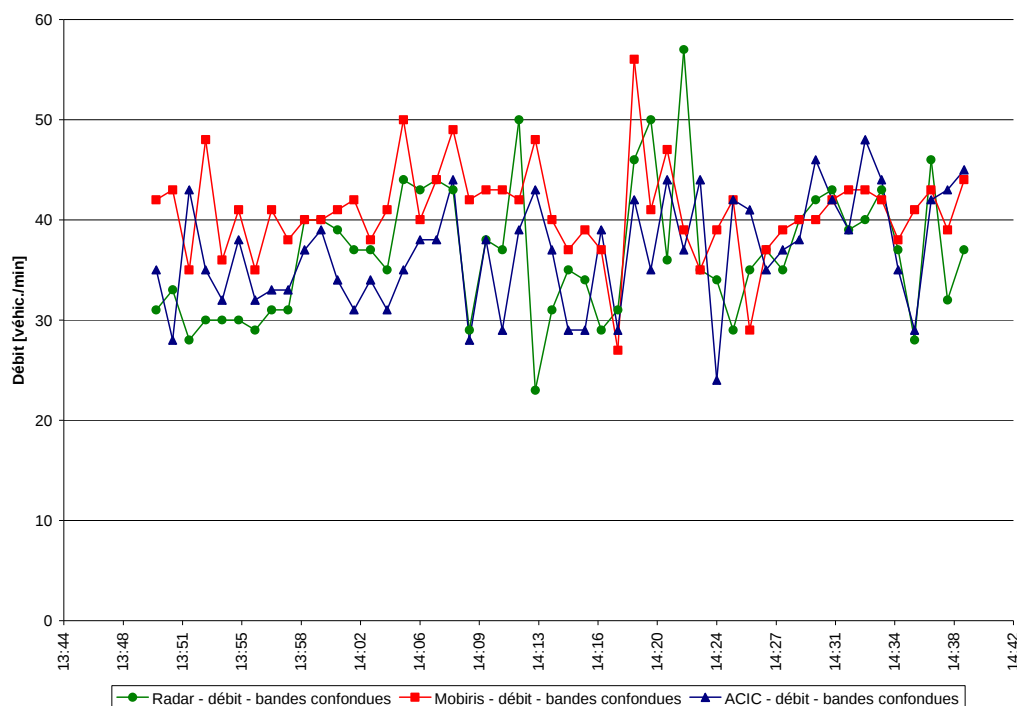


Figure 7 : mesures de débit dans le tunnel Louise, direction Nord
le mercredi 13 décembre 2006

• Conclusions des comparaisons

En conclusion, il apparaît clairement que les mesures de vitesse réalisées par le système Mobiris installé dans les tunnels ne sont pas fiables. Les mesures de débit paraissent plus proches de la réalité, mais ne sont pas non plus exemptes d'erreur.

Les mesures du système ACIC se sont révélées en comparaison beaucoup plus fiables. Il est apparu dans l'analyse statistique que la probabilité d'erreur de ce système était inférieure ou égale à 5 % lors du test réalisé dans le tunnel Louise.

Dès lors, pour compléter les mesures de vitesses dans les différents tunnels de l'étude, la décision a été prise, en concertation avec le Cabinet et l'administration régionale, de commander à la société ACIC une série de mesures supplémentaires dans des tunnels représentatifs.

Ces tunnels sont le tunnel Bailli sur l'avenue Louise, le tunnel Georges Henri sur le boulevard Reyers, le tunnel de la Porte de Hal sur la petite ceinture et le tunnel Tervuren sur l'axe Loi-Montgomery-Tervuren. Ils viennent donc s'ajouter aux autres points de mesures déjà réalisés par la société ACIC, soit le tunnel Léopold II, le tunnel Belliard, le tunnel Reyers-Centre et le tunnel Arts-Loi.

Les autres mesures de vitesse disponibles sur les axes concernés, en dehors des tunnels, sont celles de contrôles radar ponctuels effectués par la police. Vu leur caractère ponctuel, elles ne sont pas représentatives à elles seules du comportement général des conducteurs mais permettent toutefois de compléter utilement les mesures de vitesses effectuées systématiquement dans les tunnels.

Cet ensemble permet d'assurer une connaissance suffisante des comportements de conduite dans les tunnels et sur les axes concernés par l'étude.

1.1.2. Constats

1.1.2.a. Erreurs de mesure dans le système Mobiris

Comme nous l'avons constaté dans la partie précédente, des erreurs importantes entachent les mesures de vitesse réalisées à l'aide du système de caméras de Mobiris. Ces erreurs varient selon la caméra considérée et les caractéristiques du trafic.

Il apparaît donc que les mesures de Mobiris ne fournissent pas une mesure fiable de la vitesse moyenne des véhicules. Par souci de précision et d'exactitude, nous n'utiliserons pas ces mesures et préférerons nous baser uniquement sur celles réalisées par la société ACIC (bien que celles-ci soient moins étendues dans le temps et l'espace).

Les mesures de vitesses réalisées fournissent les valeurs moyennes de vitesse par 15 minutes. Nous utiliserons également la vitesse V85 (moyennée sur 15 minutes également). La vitesse V85 est la vitesse que ne dépassent pas 85 % des véhicules. Il s'agit d'un indicateur souvent utilisé pour représenter le comportement global des usagers d'une voirie en ce qui concerne les vitesses pratiquées.

En ce qui concerne les mesures de débit, nous avons vu que les mesures d'ACIC étaient satisfaisantes. En cohérence avec notre choix d'utiliser les données ACIC pour les vitesses, nous utiliserons uniquement les mesures de débit de la société ACIC.

Les mesures de débit utilisées reprennent le nombre de véhicules sur toutes les bandes de circulation, par 15 minutes.

1.1.2.b. Vitesses excessives et infractions généralisées

On constate, en règle générale, que les vitesses pratiquées sont élevées, pratiquement toujours supérieures aux limitations. La vitesse est plus élevée en dehors des heures de pointe. Les heures de pointe se concentrent, en semaine, le matin (surtout pour les axes entrant dans la ville) et en fin d'après-midi (surtout pour les axes sortants). Le week-end, une période de congestion apparaît en fin d'après-midi et en soirée le samedi. Le dimanche et la nuit, le trafic est généralement fluide.

Les tables 1 et 2 reprennent les ordres de grandeur des valeurs mesurées dans les tunnels : vitesses moyennes, vitesse V85, taux d'infraction, écart-type de la vitesse, débit maximal observé et vitesse « optimale » à laquelle ce débit est observé.

Les graphiques détaillés des mesures effectuées sont repris en annexe (graphiques chronologiques de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit ; graphiques chronologiques du taux d'infraction ; graphiques chronologiques des vitesses moyennes par bande de circulation ; graphiques débit-vitesse).

Certaines cases sont restées vides : ce sont celles pour lesquelles la caractéristique considérée ne peut pas être observée de manière satisfaisante par les mesures effectuées. Par exemple, la saturation n'a pas été atteinte dans certains tunnels

pendant la durée des mesures : dans ce cas, il a été impossible d'observer le débit maximal et la vitesse optimale qui permette de l'atteindre.

La vitesse moyenne pratiquée et, plus encore, la vitesse V85 sont systématiquement plus élevées que les limitations de vitesse en vigueur. Les seuls tunnels où la vitesse moyenne n'est dépassée que faiblement sont ceux qui sont régulièrement congestionnés et où il est donc physiquement impossible de rouler plus vite (par exemple, le tunnel Arts-Loi, direction Midi).

On constate une différence entre les vitesses de jour et de nuit : la vitesse moyenne en régime fluide de jour est en général approximativement 10 km/h plus basse que la vitesse moyenne en régime fluide de nuit. De même, la dispersion des vitesses est plus importante de nuit : l'écart-type est proche de 10 km/h pour tous les tunnels en journée tandis qu'il se rapproche de 15 km/h la nuit.

Il apparaît également une différence notable de vitesse entre les bandes de circulation dans une même direction : en général, la bande de gauche est nettement plus rapide que la bande de droite (en régime fluide). Cette différence est de l'ordre de 10 à 15 km/h. Lorsque le trafic entre en régime congestionné, cette différence tend à disparaître.

En ce qui concerne le taux d'infraction, on s'aperçoit qu'il est systématiquement très élevé, sauf lorsqu'il est physiquement impossible de dépasser la vitesse maximale autorisée, à savoir pendant les heures de pointe, dans le trafic congestionné. Les valeurs de taux d'infraction en régime fluide sont supérieures à 90 % dans la quasi-totalité des tunnels.

Ces indicateurs incitent à prendre des mesures pour améliorer le respect des limitations. De tels niveaux d'infraction doivent être considérés comme un signal d'alarme qui indique probablement une méconnaissance et une incompréhension des limitations en vigueur.

1.1.3. Conclusion

Les constats importants à tirer des mesures de vitesse et de débits sont les suivants :

- Les vitesses pratiquées sont largement supérieures aux limitations en vigueur, pour tous les tunnels.
- La vitesse augmente en dehors des heures de pointe, particulièrement la nuit.
- Des différences importantes de vitesses apparaissent entre bandes de circulation. De manière générale, la dispersion des vitesses entre véhicules est élevée.
- Les taux d'infraction constatés sont énormes.

Ces observations fournissent un signal clair : la mise en œuvre actuelle des limitations de vitesse engendre un irrespect généralisé. Cet irrespect constitue un risque très important en termes de sécurité routière.

Table 1 : vitesses moyennes constatées (données ACIC)

		Vitesse maximale autorisée	Vitesse moyenne					
			Bandes confondues		Bande de gauche		Bande de droite	
		[km/h]	Jour [km/h]	Nuit [km/h]	Jour [km/h]	Nuit [km/h]	Jour [km/h]	Nuit [km/h]
Tunnel Bailli	Direction Centre	50	70	80...85	75	85...105	70	80...90
Tunnel Bailli	Direction Cambre	50	72	80...85	80	85...105	70	80...85
Tunnel Arts-Loi	Direction Midi	50	55	60...70	60	70...95	50	60...70
Tunnel Arts-Loi	Direction Nord	50	60	70...80	65	70...85	55	60...75
Tunnel Belliard		50	70...75	75...80	75...80	80...95	65...70	70...80
Tunnel Reyers-Centre		50	55	60...70	Le tunnel Reyers-Centre ne comporte qu'une seule bande de circulation			
Tunnel Georges Henri	Direction Reyers	50	75	80	80	85...90	70	75...80
Tunnel Georges Henri	Direction Montgomery	50	75	85	85	90...105	70	80
Tunnel Léopold II	Direction Centre	50	60	70...80	65	70...80	55	60...75
Tunnel Léopold II	Direction Ring	50	65	70...80	70...75	75...95	60	65...75
Tunnel Porte de Halle	Direction Midi	50	75	80	85	85...90	70	75...80
Tunnel Porte de Halle	Direction Louise	50	65	65...70	70	75...85	60	60...75
Tunnel Tervuren	Direction Centre	70	70...75	80...95	80	85...110	70	80...85
Tunnel Tervuren	Direction Ring	70	80	85...95	90	90...120	75	80...90

Table 2 : vitesses V85, taux d'infraction, écarts-type, débits maximaux et vitesses optimales constatés (données ACIC)

		Vitesse V85		Taux d'infraction	Ecart-type		Débit maximal	Vitesse optimale
		= vitesse que 85% des usagers ne dépassent pas			= amplitude des écarts par rapport à la vitesse moyenne			= correspondant au débit maximal
		Jour [km/h]	Nuit [km/h]		Jour [km/h]	Nuit [km/h]	[véhic/15 min /bande]	[km/h]
Tunnel Bailli	Direction Centre	80	90...105	> 95 % sauf congestion	10	15	325...350	40...60
Tunnel Bailli	Direction Cambre	85	85...105	> 95 % sauf congestion	10	15	300...325	45...70
Tunnel Arts-Loi	Direction Midi	65	70...85	> 60 % de jour sauf congestion et > 95 % de nuit	10	15	350	25...55
Tunnel Arts-Loi	Direction Nord	70	75...90	> 90 % sauf congestion	10	15	325...350	35...60
Tunnel Belliard		80...85	85...100	> 95 %	10	15	*	*
Tunnel Reyers-Centre		60	65...85	65...80 % de jour et > 80 % de nuit	10	15	350...400	25...50
Tunnel Georges Henri	Direction Reyers	85	80...100	> 90 %	10	10	*	*
Tunnel Georges Henri	Direction Montgomery	85	95...105	> 95 % sauf congestion	10	15	200...230	30...70
Tunnel Léopold II	Direction Centre	75	80...100	> 80 % sauf congestion	10	15...20	400...500	30...60
Tunnel Léopold II	Direction Ring	75	80...100	> 85 % sauf congestion	10...15	15...20	300...350	25...55
Tunnel Porte de Halle	Direction Midi	85	90...95	> 98 % sauf congestion	10	10	*	*
Tunnel Porte de Halle	Direction Louise	80	85...95	> 85 % sauf congestion	10	10...15	*	*
Tunnel Tervuren	Direction Centre	85	90...110	> 98 %	10	15...20	*	*
Tunnel Tervuren	Direction Ring	95	95...110	> 99 %	10	15	*	*

* dans certains tunnels, les mesures effectuées n'ont pas permis de repérer le débit maximal et la vitesse correspondante, parce que la voirie n'a jamais été saturée

1.2. Statistiques d'incidents et accidents

1.2.1. Remarques préliminaires

Avant d'entamer l'analyse des statistiques des accidents, il convient de présenter les différentes sources de statistique, de préciser les difficultés rencontrées et de relever les erreurs apparues.

- *Données du Service Public Fédéral Economie, Direction Générale Statistiques et Informations Economiques*

Les statistiques d'accidents du Service Public Fédéral Economie (SPF Economie), anciennement appelé Institut National des Statistiques (INS), portent uniquement sur les accidents avec tués ou blessés et sont encodées à partir d'un FAC (formulaire d'analyse des accidents de la circulation avec tués ou blessés). Les FAC sont encodés en chambre sur base d'un PV, rédigé le plus souvent par un autre policier. Il y a un risque de déformation des événements encodés. L'encodage des FAC se fait séparément de celui du registre des PV : on constate que certains accidents ne sont pas encodés dans les FAC, alors qu'ils se trouvent dans le registre des PV. Les données du SPF Economie sont donc incomplètes.

La dénomination des lieux d'accidents manque également de précision : par exemple, la dénomination RO21 est utilisée pour l'ensemble de la grande ceinture.

Il existe également un risque que le code « tunnel » du FAC n'ait pas été choisi pour plusieurs accidents malgré que ceux-ci se soient produits dans des tunnels. Dans ce cas, ils ont été encodés sous le nom du boulevard sous lequel le tunnel se trouve.

Les FAC comportent cependant une série d'informations utiles sur l'accident : facteurs d'accident, type d'usagers,...

- *Données du registre des PV*

Les données du registre des PV reprennent les accidents pour lesquels un procès-verbal a été rédigé, à savoir autant les accidents avec blessés ou tués que les accidents avec uniquement des dégâts matériels pour lesquels la police est intervenue. Ces données sont disponibles mensuellement pour le mois écoulé.

L'encodage des données se fait via le système informatique ISLP. Elles sont envoyées directement à la police fédérale. Le système informatique ne prend malheureusement pas en compte de code « tunnel » qui permette de spécifier que l'accident s'est produit dans un tunnel. Il est donc impossible de définir si l'accident a eu lieu en surface ou dans le tunnel. Les données de PV ne sont donc pas exploitables pour l'étude des tunnels.

La dénomination des voiries est plus uniforme et plus précise dans les PV que dans les données du SPF Economie. Les noms de rues sont clairement indiqués. Les accidents se produisant à un carrefour peuvent être identifiés.

- *Données des zones de police*

Etant donné que les données du SPF Economie portent uniquement sur les accidents avec dégâts corporels et que les données du registre des PV ne sont pas exploitables pour les tunnels, nous avons jugé utile de demander aux zones de police leurs propres statistiques d'accidents pour les tunnels. Les données des zones de police font l'objet d'un encodage propre à chaque zone. Seules les zones de Bruxelles-Ixelles et de Bruxelles-Ouest ont pu nous fournir des données intéressantes.

Les données de ces deux zones de police reprennent l'ensemble des accidents avec dégâts matériels ou corporels qui ont fait l'objet d'un PV par un agent de la zone. Cependant ces données ne comprennent pas forcément tous les accidents qui se sont produits sur leur territoire, et ce principalement pour deux raisons :

D'une part, c'est, en toute logique, la patrouille la plus proche du lieu de l'accident qui intervient. Des patrouilles d'autres zones de police ont donc pu intervenir pour certains accidents et rédiger le PV. Ce phénomène est accentué par le fait que plusieurs tunnels de la zone de Bruxelles-Ixelles (Madou, Botanique, Porte de Hal) sont situés aux limites de la zone.

D'autre part, les accidents avec dégâts matériels tels que les accrochages se règlent le plus souvent à l'amiable, sans faire l'objet d'un PV. Ils ne sont donc pas repris dans la base de données de la police.

Les données de la zone de police Bruxelles-Ixelles comportent un code tunnel obligatoire, ce qui permet de limiter fortement le risque d'erreur de localisation.

- *Données du centre Mobiris*

Ces données contiennent les statistiques d'incidents dans les tunnels et sont basées sur les relevés des opérateurs du centre Mobiris, qui assurent une permanence 24h sur 24. Ces incidents comprennent les accidents, les pannes ainsi qu'une rubrique « divers » (inondation, manifestation, visite d'état,...).

Les tunnels n'étant pas équipés d'un système de détection automatique des incidents, ceux-ci doivent donc être détectés visuellement et manuellement par les opérateurs en parcourant les quelques 380 caméras de surveillance présentes dans l'ensemble des tunnels.

Un incident se produisant juste à hauteur d'une caméra ou ayant un grand impact sur le trafic aura plus de chance d'être détecté par un opérateur.

De plus certains tunnels, comme le Belliard et le Léopold II, sont mieux couverts par les caméras de surveillance (une caméra tous les 40 m) que d'autres.

Il arrive donc fréquemment qu'un incident échappe à la vigilance des opérateurs et ne soit pas repris dans les statistiques.

De plus, lors d'un accident sans gravité, les véhicules impliqués sortent parfois immédiatement du tunnel pour faire le constat d'accident à l'extérieur. Dans ce cas, l'accident n'est donc pas répertorié comme accident dans un tunnel ni par le centre Mobiris ni par la police.

Les données Mobiris indiquent le type d'accident : avec blessés ou uniquement avec dégâts matériels. En comparaison avec les données de la police, il ressort que les données Mobiris sous-estiment très fortement le pourcentage d'accidents avec blessés. Cela pourrait s'expliquer par le fait que Mobiris ne soit pas bien informé par la police du type d'accident.

Par la suite, nous nous baserons donc uniquement sur les données de la Police pour la catégorisation des accidents.

Concernant les pannes, seules celles où le véhicule en panne gêne la circulation sont encodées par les opérateurs de Mobiris. Les pannes où le véhicule est à l'arrêt dans la zone de refuge et qui n'ont pas d'influence sur la circulation sont très rarement encodées.

Les données de Mobiris ne sont donc pas exhaustives mais elles peuvent néanmoins donner une estimation du nombre d'incidents et de leur localisation.

- *Zones d'échange*

Les zones d'échange entre les tunnels portent le même nom que l'allée latérale dans les bases de données. La seule manière de déterminer si un accident a eu lieu sur une zone d'échange est donc l'analyse du procès-verbal de l'accident.

Un agent de la zone de police de Bruxelles-Ixelles s'est livré à cet exercice pour les zones d'échange situées entre Trône et Botanique. Mais les données utilisées ne sont pas exhaustives : nous ne disposons donc pas de statistiques fiables pour les accidents sur zones d'échange. Par contre l'analyse des comptes-rendus des procès-verbaux nous permettra d'analyser les facteurs d'accident sur ces zones d'échange.

- *Période analysée*

La volonté était au départ d'analyser les statistiques d'accident pour 2005.

Il s'est avéré que Mobiris ne dispose de statistiques d'accidents qu'à partir de juin 2005. A cette époque un nouveau système de relevé et de vérification des statistiques a été mis en place au centre Mobiris. Les données récoltées grâce à ce système semblent s'améliorer avec le temps. Il a donc été décidé d'analyser les statistiques d'accidents de Mobiris et de la zone de police Bruxelles-Ixelles sur une période de 12 mois aussi récente que possible, que nous avons fixée d'octobre 2005 à septembre 2006.

En revanche, pour les données du SPF Economie et du registre des PV nous disposons de données uniquement pour l'année 2005.

Les périodes analysées diffèrent donc selon les sources de données.

- *Conclusion*

La table 3 récapitule les différentes sources de données utilisées pour l'étude des accidents et leurs caractéristiques principales.

Table 3 : récapitulatif des sources de données utilisées pour l'analyse des accidents

	SPF ECO (anciennement INS)	Registre des PVs	Zone de police Bruxelles – Ixelles	Mobiris
Période	2005	2005	Octobre 2005 à septembre 2006	Octobre 2005 à septembre 2006
Territoire	RBC	RBC	Zone de police Bruxelles -Ixelles	Tunnels de la RBC
Type de données	Accidents avec dégâts corporels	Accidents avec dégâts matériels et corporels	Accidents avec dégâts matériels et corporels	Accidents avec dégâts matériels et corporels Pannes Autres incidents, divers
Informations disponibles	Localisation, moment et type d'accident, type et mouvement des usagers, facteurs et circonstances de l'accident, ...	Localisation, moment et type d'accident	Localisation, moment et type d'accident	Localisation et moment de l'incident
Points positifs	Informations sur les circonstances de l'accident	Données fiables mais non exhaustives car uniquement accidents avec PVs	Encodage « tunnel » Données fiables mais non exhaustives car uniquement accidents avec PVs	Données sur les pannes
Points négatifs	Données très incomplètes, Difficulté de localiser l'accident	Pas d'encodage « tunnel » → impossibilité de déterminer si l'accident a eu lieu à l'intérieur ou l'extérieur du tunnel	Couverture partielle des tunnels de la RBC + PV d'un accident sur le territoire de la zone parfois rédigé par une autre zone	Données incomplètes (nombreux accidents pas détectés par l'opérateur)
Conclusion	Données peu fiables à utiliser uniquement pour déterminer les facteurs d'accidents et les types d'usagers impliqués	Données fiables pour les boulevards étudiés mais inutilisables pour les tunnels	Données utilisables pour les tunnels à compléter par les données Mobiris	Données utilisables mais incomplètes à recouper avec les données de la police

Pour les boulevards, nous nous baserons sur les données des registres des PV. Par contre pour les tunnels, nous constatons qu'aucune source de données n'est a priori exhaustive. Nous espérons néanmoins qu'en recoupant les différentes sources disponibles, nous disposons de statistiques d'accidents fiables pour cette étude.

Un accident avec lésions corporelles doit théoriquement faire l'objet de 3 encodages différents : SPF Economie, registre des PV et zones de police. Un encodage unique permettrait un gain considérable de temps de travail administratif ainsi qu'une exploitation plus aisée des statistiques d'accidents.

1.2.2. Analyse des données pour les tunnels

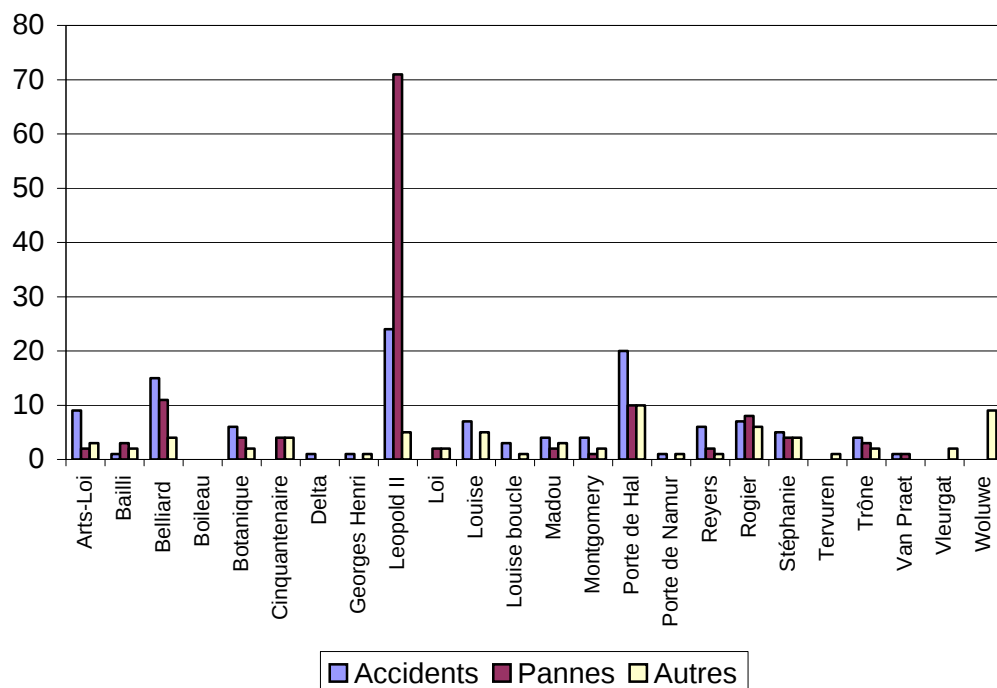


Figure 8 : nombre d'incidents dans les tunnels d'octobre 2005 à septembre 2006 - données Mobiris

1.2.2.a. Accidents

119 accidents dans les tunnels sont recensés par Mobiris pour la période analysée de 12 mois (figures 8 et 9).

Le tunnel Léopold II avec 24 accidents est le plus accidentogène, suivi par le tunnel Porte de Hal avec 20 accidents (probablement dus à son virage prononcé) et enfin les tunnels Belliard et Arts-Loi.

Dans le tunnel Botanique, le nombre d'accidents est peu élevé malgré la présence d'un virage serré.

Afin de valider ces données, nous avons décidé de les comparer aux données de la zone de Bruxelles-Ixelles. Les tunnels Léopold II et Belliard n'étant situés qu'en petite partie sur le territoire de la zone de Bruxelles-Ixelles, leur données sont donc fragmentaires et ne sont pas reprises dans cette comparaison.

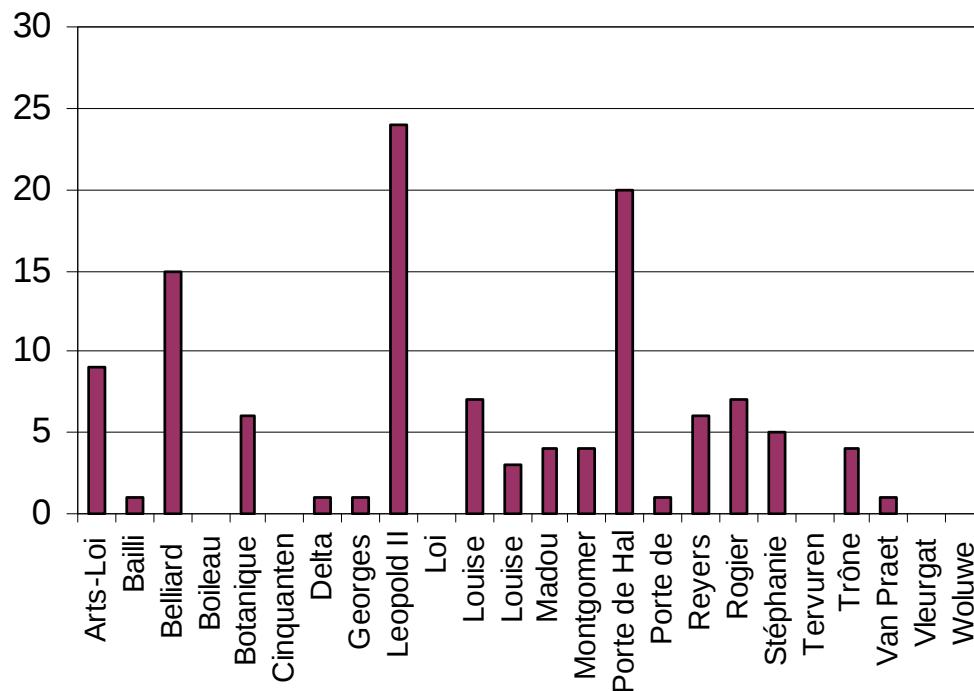


Figure 9 : nombre d'accidents dans les tunnels d'octobre 2005 à septembre 2006 - données Mobiris

On constate (figure 10) que la répartition des accidents par tunnel selon les données de la police ne correspond pas à celle des données de Mobiris. Le tunnel Porte de Hal est toujours le plus accidentogène. Il est par contre suivi par le tunnel Rogier et non plus par le tunnel Arts-Loi.

Après l'analyse minutieuse des 80 accidents de la base de données de la police, il apparaît que seulement 39 accidents (soit près de la moitié) se retrouvent dans la base de données Mobiris. Or les accidents pour lesquels intervient la police sont souvent des accidents graves (2/3 sont des accidents avec blessés), qui ne devraient pas échapper à l'attention des opérateurs de Mobiris.

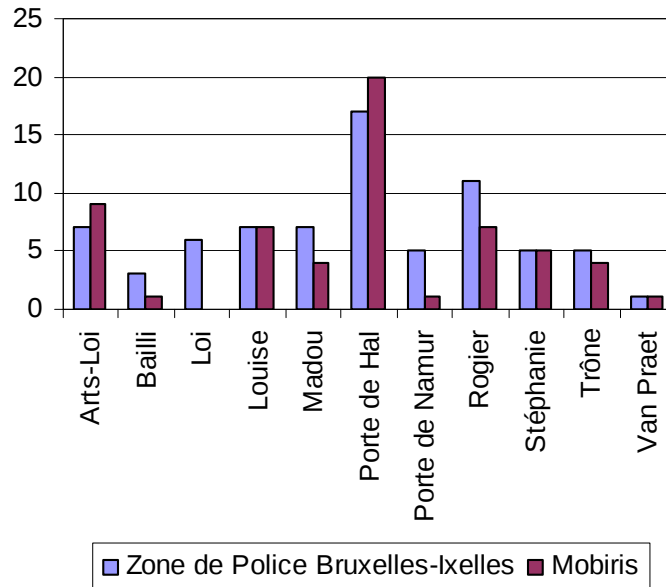


Figure 10 : nombre d'accidents dans les tunnels d'octobre 2005 à sept 2006 - comparaison des données de la zone de police Bruxelles-Ixelles et de Mobiris

Ces constatations révèlent des lacunes importantes dans l'encodage des accidents par le centre Mobiris.

Il est cependant positif de constater que les données de Mobiris s'améliorent depuis juin 2006. Ceci est probablement dû au fait que depuis cette date, une vérification des relevés statistiques est réalisée en comparaison avec les données de la main courante.

- *Données SPF Economie*

Dans les données du SPF Economie, 55 accidents avec blessés légers, blessés graves ou tués sont recensés sur l'ensemble des tunnels bruxellois pour l'année 2005. La plupart étaient des accidents avec blessés légers (seulement 4 accidents avec blessés graves et aucun tué).

Nous constatons que la dénomination des tunnels est assez peu cohérente. Les tunnels sont soit encodés par le nom du tunnel (tunnel Loi, petite ceinture), soit par la rue au-dessus tunnel (place Saintelette plutôt que tunnel Léopold II). Dans plusieurs cas, la dénomination est le nom d'un boulevard sous lequel il n'y a pas de tunnel ! On constate une amélioration à partir de juin 2005, la dénomination « tunnel » apparaît dans la plupart des cas.

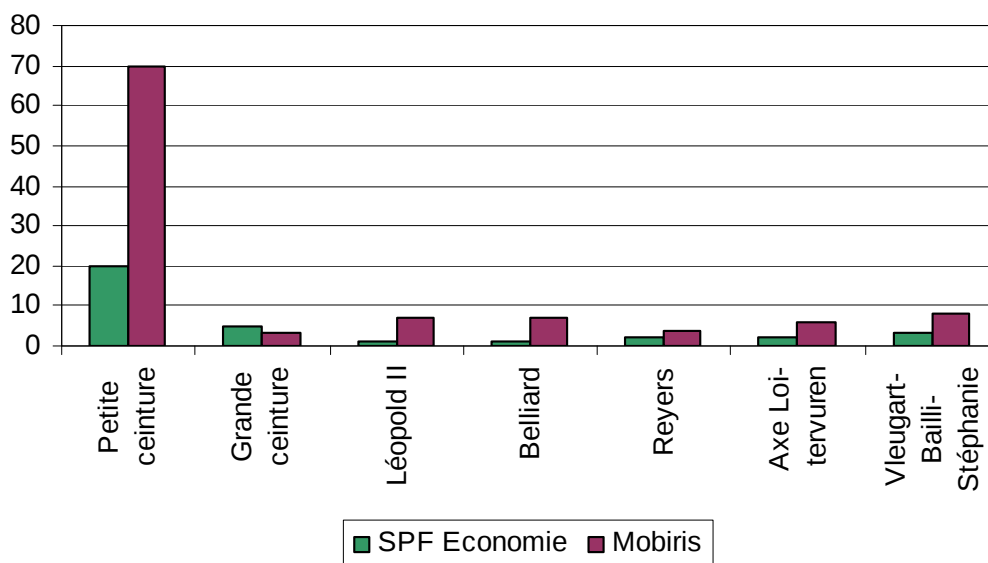


Figure 11 : nombre d'accidents dans les tunnels de juin à décembre 2005 – comparaison des données du SPF Economie et de Mobiris

Pour la période analysée de 7 mois (période commune aux 2 bases de données), un seul accident est recensé dans les données du SPF Economie pour les tunnels Léopold II et Belliard. Or, d'après le centre Mobiris, ce sont 2 tunnels très accidentogènes. Ces données sont reprises à la figure 11. De plus, d'après les enregistrements de la caméra 18 du Belliard située à l'entrée du tunnel, il y a eu beaucoup d'accidents graves (tonneaux,...) à cet endroit en 2005 qui n'apparaissent pas dans les données du SPF Economie.

Enfin la base de données du SPF Economie comprend 55 accidents sur l'ensemble des tunnels bruxellois pour une période de 12 mois alors que la base de données de la zone de police Bruxelles Ixelles comprend pour le même laps de temps 60 accidents avec blessés, uniquement pour les tunnels de la petite ceinture, Loi et Bailli. Il y a donc, a priori, un sous-encodage des accidents dans la base de données du SPF Economie.

En considérant les accidents s'étant produits sur la petite ceinture dans la période de juin à décembre 2005 (la seule période pour laquelle on dispose des 2 bases de données), on retrouve 19 accidents dans la base de données du SPF Economie dont 15 sont identifiables dans la base de données de la police. Ce pourcentage semble acceptable, vu la possibilité que certains accidents soient traités par la police fédérale ou une autre zone de police.

Par contre, toujours pour cette même période, sur 37 accidents avec blessés de la zone de police de Bruxelles-Ixelles, seul 24 se retrouvent dans la base de données du SPF Economie, soit 64 %.

- *Conclusion*

Au vu de ces résultats, il semble que plus d'un tiers des accidents encodés par la zone de police ne se retrouvent pas dans les données du SPF Economie. Les données du SPF Economie ne sont donc pas complètes. De plus, elles ne portent que sur les accidents avec tués et blessés.

Elles sont cependant les seules à mettre en évidence les facteurs à l'origine des accidents et les usagers impliqués : nous avons donc décidé d'utiliser les données du SPF Economie uniquement dans le cadre de l'analyse des facteurs de l'accident et du type d'usagers impliqués. Ces éléments sont importants pour l'analyse mais ne sont pas présents dans les autres bases de données.

Les données de Mobiris comme celles de la police sont incomplètes mais peuvent néanmoins donner des tendances sur le nombre d'accidents et sur les tunnels les plus accidentogènes.

La correspondance entre les données de Mobiris et celles de la police pourrait être nettement améliorée par une meilleure communication entre ces deux instances. En effet, le centre Mobiris n'est souvent pas informé par la police quand celle-ci intervient sur le lieu d'un accident. Or si l'on veut à l'avenir que Mobiris améliore la gestion des incidents (via un plan catastrophe, une information radio et sur les panneaux à message variable, une fermeture de voies), il est primordial qu'il soit systématiquement informé lorsqu'il y a un accident, et d'autant plus si celui-ci entrave la circulation.

1.2.2.b. Pannes

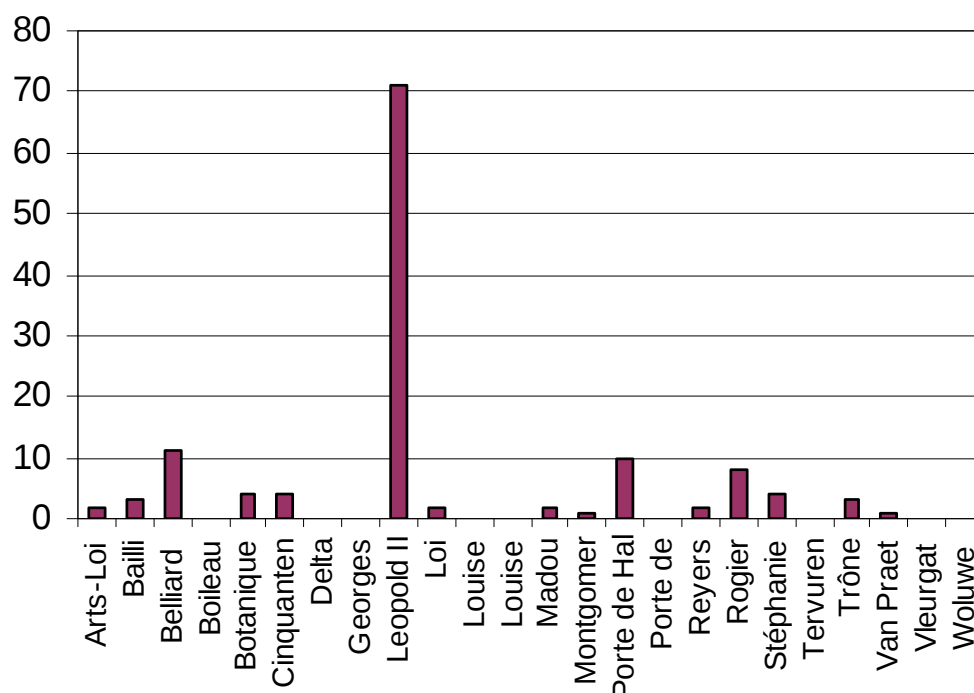


Figure 12 : nombre de pannes dans les tunnels d'octobre 2005 à sept 2006 - données Mobiris

128 pannes dans les tunnels sont recensées par Mobiris (cfr figure 12) pour la période analysée de 12 mois. Le tunnel Léopold II comptabilise à lui seul 71 pannes soit plus de la moitié du nombre total. Cela équivaut à près de 1 panne tous les 5

jours. Cela s'explique en partie par sa longueur (il est impossible de sortir rapidement du tunnel en cas de panne) et par la congestion récurrente en cet endroit.

D'après les opérateurs de Mobiris, le pourcentage de pannes d'essence serait de l'ordre de 15 à 20 %.

Ces chiffres comprennent uniquement les pannes où le véhicule n'a pas pu atteindre la zone de refuge pour s'arrêter. Le nombre réel de véhicules tombant en panne dans les tunnels est donc sensiblement plus élevé.

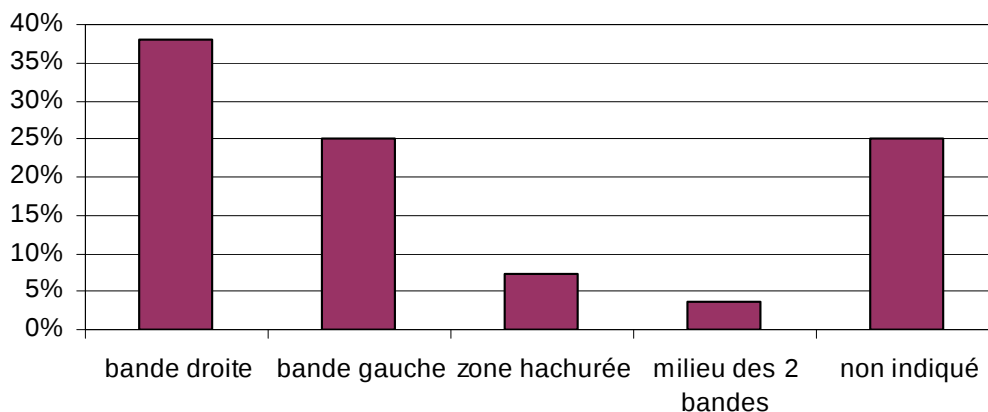


Figure 13 : emplacement de l'arrêt de véhicules en panne

Sur la figure 13, on constate que 38% de ces véhicules en panne s'immobilisent sur la bande de droite, 25 % sur la bande de gauche et 4% au milieu des 2 bandes. Dans ce cas de pannes, l'automobiliste n'ose généralement pas sortir de son véhicule pour placer le triangle de sécurité. Il y a donc un risque réel qu'une voiture entre en collision avec le véhicule en panne, risque qui est accru avec la vitesse.

1.2.2.c. Facteurs d'accidents

La vitesse n'apparaît pas en tant que telle comme facteur d'accident étant donné qu'il est difficile d'établir la vitesse comme cause directe d'accident. Plusieurs facteurs sont cependant repris qui peuvent être associés directement à une vitesse inadaptée (voir table 4).

Les accidents dus à une « perte de contrôle d'un véhicule » sont généralement liés à une vitesse inadaptée [IBSR 1999]. Ce facteur est mentionné pour 22% des accidents. Pour les accidents dans les tunnels, ce pourcentage est de 32 % et donc sensiblement plus élevé. Les facteurs « non-respect de la distance entre les usagers », « effectuer in extremis une manœuvre » d'évitement peuvent également faire supposer que la vitesse était inadaptée.

Facteurs d'accidents	Tunnels	Belgique (2005)
<i>Perte de contrôle du véhicule</i>	32 %	22 %
<i>Non respect de la distance entre les usagers</i>	32 %	8 %
<i>Effectuer in extremis une manœuvre d'évitement</i>	9 %	5 %

Table 4 : répartition des facteurs d'accidents pour les tunnels bruxellois et la Belgique en général

Concernant les facteurs d'accidents sur les zones d'échange entre les tunnels, nous avons procédé à l'analyse des procès-verbaux d'une dizaine d'accidents s'étant produits sur les zones d'échange situées entre les tunnels Trône et Botanique. Il ressort de cette analyse que les causes d'accident sur ces zones sont majoritairement des manœuvres de changement de bandes en sortant du tunnel, ainsi que dans une moindre mesure le brusque ralentissement de la circulation. Un lieu qui semble particulièrement accidentogène est la sortie vers la rue Belliard en venant du tunnel trône ainsi qu'en venant du tunnel Arts Loi.

1.2.3. Analyse des données pour les boulevards

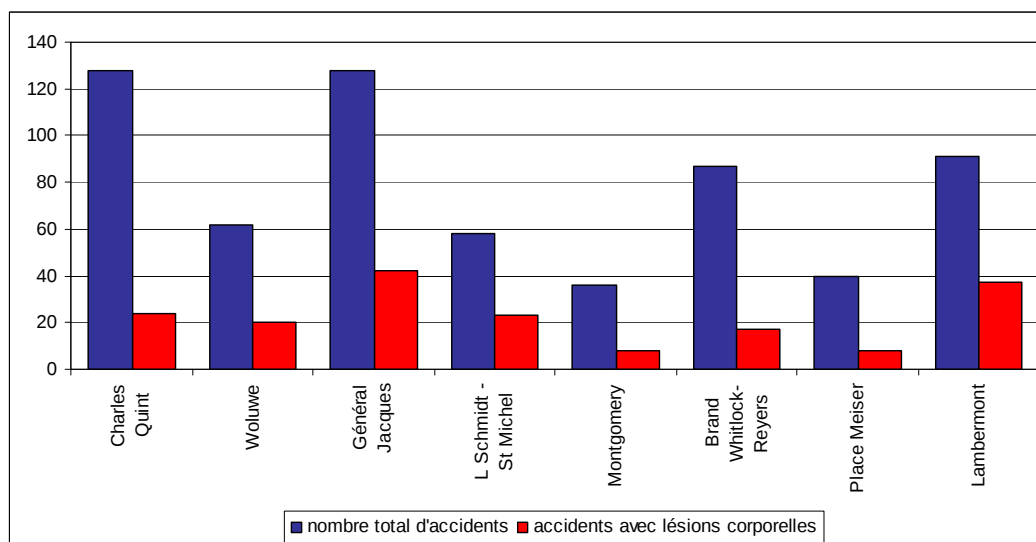


Figure 14 : nombre d'accidents et type d'accidents dans les boulevards données du registre des PV 2005

Il y a eu au total 650 accidents sur les boulevards étudiés, soit 5% du nombre total d'accidents en Région de Bruxelles-Capitale.

Nous voyons à la figure 14 que le nombre total d'accidents est fort important pour le boulevard Général Jacques et l'avenue Charles Quint. Par contre le nombre d'accidents avec blessés y est plus similaire aux autres boulevards ; le pourcentage d'accident avec blessés y est donc plus faible. Ces deux boulevards sont les seuls parmi les axes étudiés qui ne disposent pas d'allée latérale. De plus de nombreux

commerces y sont présents. Nous pouvons donc supposer que l'absence d'allée latérale est à l'origine de nombreux accrochages dus à des manœuvres de stationnement.

Parmi les axes étudiés, le boulevard de la Woluwe est le seul limité à 70km/h. Cette limitation de vitesse plus élevée ne semble pas être à l'origine d'un nombre d'accident plus important. Cependant une limitation de vitesse n'est pas synonyme de vitesse pratiquée.

Enfin en analysant sur base des données du SPF Economie le type d'utilisateurs impliqués dans ces accidents, nous constatons qu'une forte proportion d'entre eux implique des utilisateurs faibles. En effet sur les 110 accidents avec lésions corporelles recensées dans les données du SPF Economie de 2005 pour l'ensemble des axes étudiés, 23 accidents impliquaient des piétons, 10 accidents des cyclistes et 13 accidents des cyclomoteurs. Au total, près de 42 % des accidents impliquent des utilisateurs faibles.

1.2.4. Conclusion

L'analyse des statistiques d'accident révèle que les données sont incomplètes et que les différentes sources ne se recoupent qu'en partie.

119 accidents dans les tunnels ont été recensés par Mobiris pour la période analysée de 12 mois. Les tunnels les plus accidentogènes sont les tunnels Léopold II, Porte de Halle et Belliard.

En comparant les données de Mobiris à celles de la police Bruxelles-Ixelles, il est apparu que les données de Mobiris faisaient l'objet d'un sous-encodage de 50% minimum.

Nous pouvons donc supposer que le nombre réel d'accidents dans les tunnels est de l'ordre de 240 pour la période analysée, auxquels s'ajoutent les nombreux accidents dans les zones d'échange.

Les résultats fragmentaires nous permettent toutefois de relever que le nombre d'accidents avec blessés dans les tunnels n'est pas négligeable : plus de 60 en un an rien que dans le tunnel Bailli, le tunnel Loi et les tunnels de la petite ceinture.

De même, de très nombreuses pannes se produisent dans les tunnels (jusqu'à une panne tous les 5 jours, en moyenne, dans le tunnel Léopold II), qui entraînent l'arrêt de véhicules sur les voies de circulation, une gêne à la fluidité du trafic et un grand risque de suraccident.

Sur les boulevards, on constate qu'une importante proportion (42 %) des accidents implique des utilisateurs faibles.

De plus, la majorité des causes d'accidents est en liaison directe ou indirecte avec la vitesse, ce qui nous porte à croire que si la vitesse pratiquée diminuait, le nombre d'accidents diminuerait également, de même que leur gravité.

2. Objectifs des politiques de régulation de vitesse

L'objet de cette partie est de présenter les différents objectifs qui peuvent être poursuivis en fixant une limitation de vitesse. En effet, une limitation de vitesse influence différents aspects de l'environnement : sécurité routière, fluidité, qualité de vie... Il importe donc de définir clairement les priorités d'une politique de régulation des vitesses, afin de prendre les décisions en connaissance de cause.

Nous commencerons par étudier le schéma de principe d'un système de régulation de vitesse, avant de nous pencher sur les différents éléments influencés par la vitesse.

2.1. Politique de régulation des vitesses

Les limitations de vitesse sont un des outils à disposition du gestionnaire de voirie pour agir sur le milieu urbain. Dans le cadre d'une politique globale, inscrite dans un développement durable de la ville, il importe d'adjoindre à cet outil une série d'autres instruments complémentaires.

Les mécanismes de régulation des vitesses peuvent être schématisés de manière simplifiée (figure 15). Trois composantes interagissent :

- le milieu urbain transmet une série d'informations au conducteur, des éléments implicites (largeur des bandes, présence d'usagers faibles,...) et explicites (signalisation, limitation de vitesse,...) ;
- le conducteur analyse ces éléments pour déterminer les circonstances dans lesquelles il se trouve, en fonction desquelles il va adapter sa conduite et notamment la vitesse à laquelle il circule ;
- finalement, le comportement des conducteurs, et particulièrement la vitesse à laquelle ils roulent, vont à leur tour influencer le milieu urbain, par leurs effets sur la sécurité, la fluidité du trafic et l'environnement.

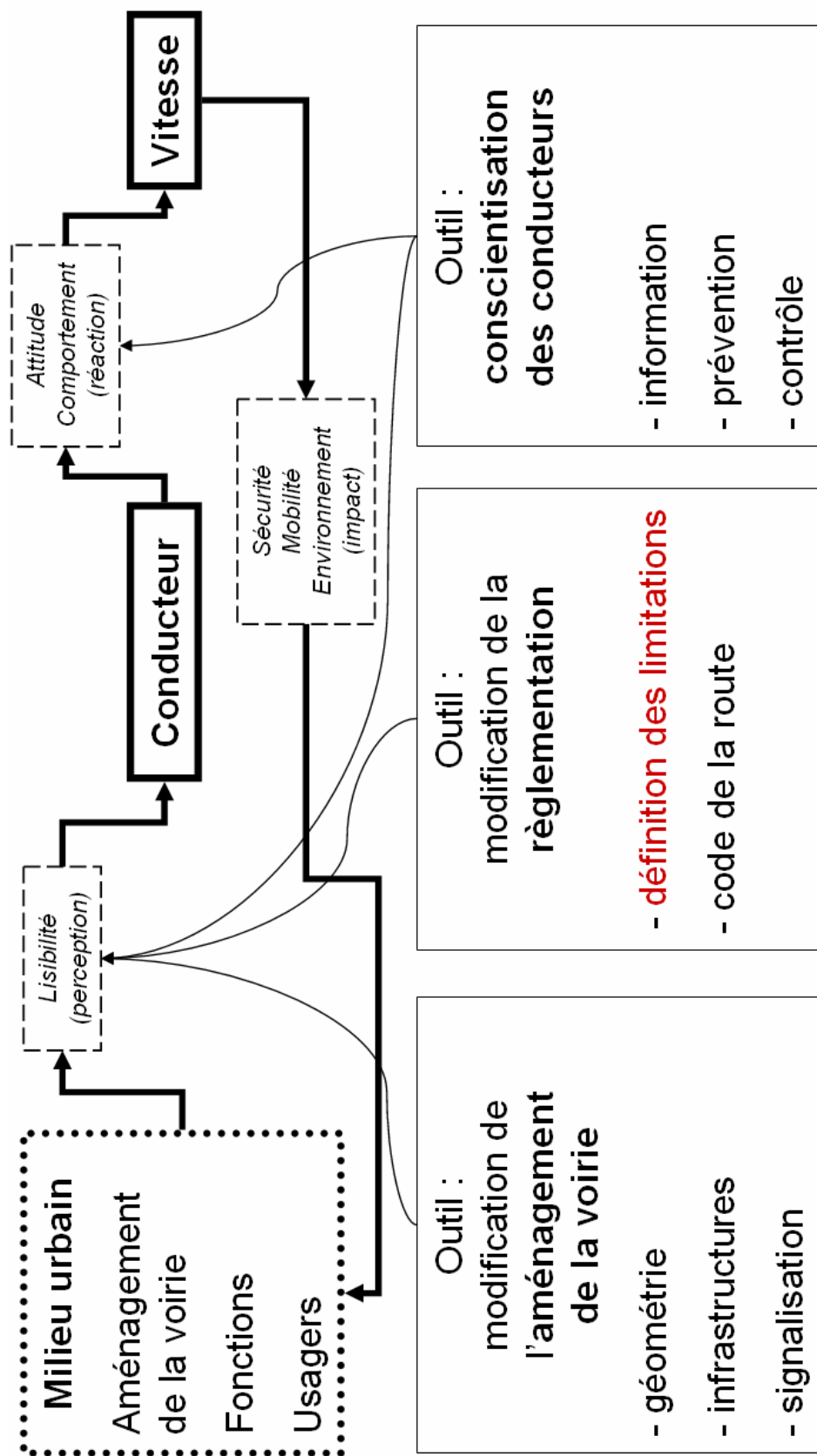


Figure 15 : mécanismes de régulation des vitesses, politique intégrée et outils

On appelle lisibilité de la voirie l'ensemble des facteurs apparents qui indiquent au conducteur les circonstances de trafic dans lesquelles il se trouve. Il est important que ces éléments aient une grande cohérence et soient des indicateurs aussi clairs que possible du comportement attendu : il s'agit de minimiser tout risque d'incompréhension de la part des usagers.

Différentes possibilités d'intervention existent dans ce schéma de régulation. Un premier outil possible est la modification de la voirie, de son aménagement : adapter sa géométrie, mettre en place des infrastructures de tranquillisation du trafic, réviser la signalisation pour la rendre plus visible ou plus compréhensible. Il est ainsi possible de modifier la manière dont les utilisateurs perçoivent la voirie et par conséquent le comportement qu'ils adoptent.

Un deuxième outil est la modification de la réglementation : changer les limitations de vitesse, appliquer différemment les règles en vigueur ou réformer ces règles. Ces procédés permettent également de transmettre aux utilisateurs une information supplémentaire au sujet de la voirie sur laquelle ils circulent et du comportement à adopter en conséquence.

Enfin, un troisième outil est la conscientisation des conducteurs : il convient d'éduquer les usagers de la voirie, pour leur faire prendre conscience des comportements adéquats face aux situations qu'ils rencontrent dans leurs déplacements. Pour ce faire, il est important de combiner des actions d'information (via des campagnes de presse, des panneaux d'affichage public, une signalisation particulière transitoire, par exemple), de prévention (via des interventions sur le terrain ayant pour but de sensibiliser les usagers aux dangers qu'ils encourent ou font encourir à d'autres par leur comportement) et de contrôle (via des opérations menées par les forces de l'ordre, visant à faire appliquer les règles par le biais de sanctions aux contrevenants).

Ces trois outils doivent idéalement être mis en œuvre de façon concertée et simultanée. En effet, par leur nature, ils sont complémentaires et n'obtiennent des résultats qu'en se renforçant mutuellement. Il est important d'agir sur l'ensemble du cycle de régulation.

2.2. Effet sur la sécurité

Lorsque la vitesse de déplacement augmente, il est plus difficile pour un conducteur de maîtriser la trajectoire de son véhicule, particulièrement en cas d'évènement imprévu. Rouler à une vitesse élevée implique notamment une réduction du champ de vision, une augmentation de la distance de freinage et d'arrêt et de la violence du choc en cas d'accident.

En général, une vitesse plus élevée implique systématiquement un niveau de sécurité plus faible.

2.2.1. Vitesse et champ de vision

A grande vitesse, l'attention se porte vers l'avant dans la direction du déplacement, ce qui implique une concentration diminuée sur l'environnement immédiat. L'étendue du champ de vision du conducteur se réduit donc avec l'augmentation de la vitesse : les éléments proches ou situés sur le côté échappent plus facilement à l'attention. Il en résulte une augmentation du risque d'accidents.

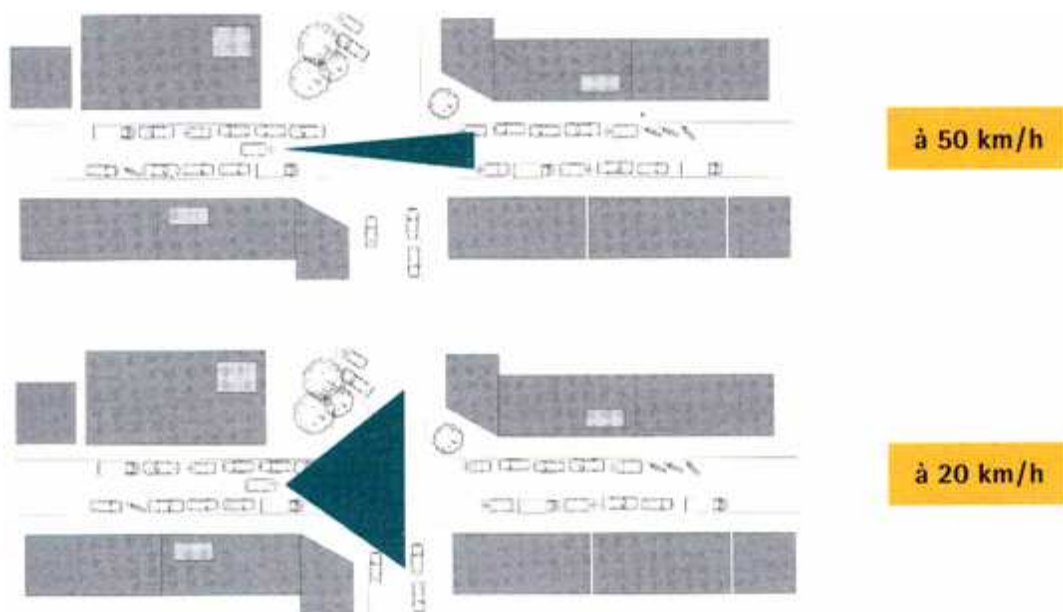


Figure 16 : réduction du champ de vision avec l'augmentation de la vitesse [CERTU 2003]

2.2.2. Vitesse et distance de freinage

La distance d'arrêt dépend du temps de réaction du conducteur, de la vitesse du véhicule et de sa décélération, comme l'exprime la formule suivante :

$$D_a = t_r V_0 + V_0^2 / (2 a)$$

où

D_a est la distance d'arrêt [m]

t_r est le temps de réaction du conducteur [s]

V_0 est la vitesse du conducteur [m/s]

a est la décélération [m/s^2]

D'après la littérature, le temps de réaction d'un conducteur varie habituellement entre 0,8 et 1,8 s. Cette durée dépend des caractéristiques de chaque individu, de son état physique (fatigue, influence d'alcool ou de médicaments), de son niveau d'attention et de la complexité de la situation à analyser.

Une décélération confortable d'un véhicule est de l'ordre de $2 m/s^2$, par exemple à l'approche d'un feu rouge. Ce sont les conditions idéales de freinage autant pour les passagers des voitures que pour les autres usagers de la route.

A partir d'une décélération de $7 m/s^2$, on peut considérer qu'il s'agit d'un freinage d'urgence, qui est possible uniquement avec un véhicule léger, en bon état et sur sol sec. Sur sol mouillé, la décélération maximale sera de l'ordre de 4 à $5 m/s^2$.

Les normes techniques belges autorisent la mise en circulation de véhicules qui ne sont pas en mesure de réaliser ce type de décélération d'urgence. En effet les normes de décélération minimale sont de $5,8 m/s^2$ pour les voitures particulières, $5 m/s^2$ pour les bus et autocars et $4,4 m/s^2$ pour les poids lourds¹, ceci sur route horizontale et sèche.

En considérant comme référence une décélération de $5 m/s^2$, le graphe ci-dessous reprend les distances minimales d'arrêt d'un véhicule léger, suite à un freinage d'urgence sur route sèche. On suppose un temps de réaction de 1,50 s.

¹ à l'exception des véhicules qui ne peuvent dépasser 30 km/h.

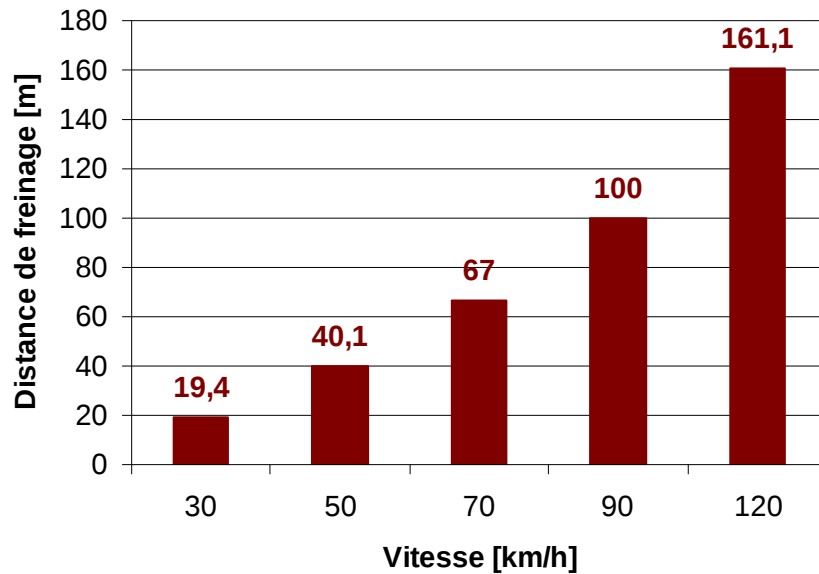


Figure 17 : distance d'arrêt minimale en fonction de la vitesse [IBSR 1999]

2.2.3. Vitesse et gravité des accidents

La gravité de l'accident dépend de la vitesse à laquelle survient la collision

L'énergie cinétique est l'énergie emmagasinée par un corps en mouvement. C'est cette énergie qui est dissipée au moment de la collision, causant les dégâts aux véhicules et aux individus. Elle est proportionnelle à la masse du véhicule et au carré de la vitesse de déplacement.

Par exemple, si un véhicule accélère de 40 à 120 km/h (soit une multiplication par 3 de la vitesse); cela correspond à une multiplication par 9 ($= 3^2$) de l'énergie dégagée en cas d'impact.

Un bon moyen de se représenter de façon pratique la relation entre vitesse et violence de l'impact résultant est de comparer la vitesse du véhicule avec celle qu'il atteindrait s'il tombait d'une certaine hauteur (voir figure 18). Une collision à 50 km/h correspond à l'impact résultant de la chute du véhicule depuis une hauteur de 10 m. Une collision à 70 km/h correspondra quant à elle à une chute depuis une hauteur de 20 m.

VITESSE D'IMPACT

correspond à une chute d'une hauteur de:

19^e étage (57 m)

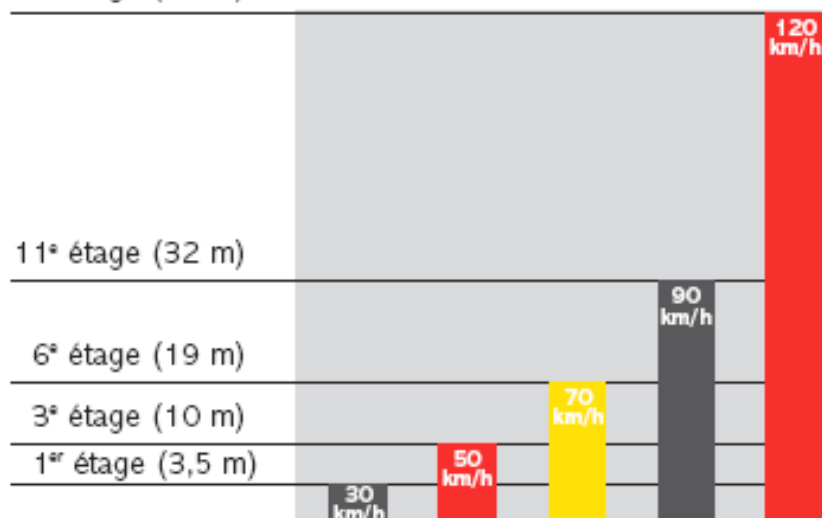


Figure 18 : équivalence entre vitesse d'impact et hauteur de chute [IBSR 2006]

2.2.4. Vitesse et probabilité d'accident

La vitesse moyenne des véhicules a aussi une influence sur la probabilité globale d'accident. Différentes relations existent qui relient cette probabilité (ou risque d'accident) à la vitesse.

- *Modèle linéaire*

Un premier type de modèle pose le postulat suivant : au départ d'une situation initiale connue, avec une vitesse moyenne pratiquée et un risque d'accident donnés, tout accroissement relatif de vitesse implique un accroissement relatif de risque proportionnel, avec un rapport constant entre les deux augmentations. Une augmentation de 1 % de la vitesse impliquerait donc une augmentation de e % du risque d'accident. Dans ce cas, on appelle e l'élasticité de l'indicateur de risque par rapport à la vitesse. Il s'agit d'un modèle linéaire puisqu'il y a un rapport constant entre la variation de vitesse et la variation de risque d'accident.

$$\Delta T / T = e \cdot \Delta V / V$$

où

ΔT est l'accroissement de l'indicateur du risque d'accident, que l'on cherche à déterminer

T est un indicateur du risque d'accident dans la situation initiale

e est l'élasticité

ΔV est l'accroissement de vitesse considéré

V est la vitesse dans la situation initiale

D'après les valeurs relevées dans la littérature ([CERTU 2003], [VTI 2004]), l'élasticité varie de 1 à 2 si on considère les accidents matériels, de 2 à 3 pour les accidents corporels et est de l'ordre de 4 pour les accidents mortels.

Cette relation est intéressante par sa simplicité et son utilisation aisée. Pour de faibles variations de vitesses (de l'ordre de 10 ou 20 km/h), les résultats sont amplement suffisants pour estimer une variation attendue des risques d'accidents, par exemple dans le cadre d'une politique de régulation des vitesses.

Il s'agit d'un modèle de prévisions relatives à une situation de départ, et l'erreur augmente au fur et à mesure que l'on s'écarte de la situation initiale. La fiabilité des prévisions baisse alors sensiblement.

- *Modèle exponentiel*

Un autre modèle utilisé est le modèle exponentiel. Il considère que le rapport entre le niveau de risque après un changement de la vitesse moyenne et le niveau de risque avant changement est égal au rapport entre vitesse moyenne après augmentation et vitesse avant augmentation porté à une puissance C (où C est une constante).

$$T_1 / T_0 = (V_1 / V_0)^C$$

où

T_0 est un indicateur du risque d'accident dans la situation initiale

T_1 est un indicateur du risque d'accident dans la situation finale

V_0 est la vitesse dans la situation initiale

V_1 est la vitesse dans la situation finale

C est une constante

La valeur de la constante C a été déterminée : elle vaut 2 pour le calcul du risque d'accident matériel, 3 pour le risque d'accident corporel et 4 pour le risque d'accident mortel.

- *Comparaison des deux modèles*

Ces deux modèles donnent des résultats similaires pour des variations de vitesse faibles, de l'ordre de 10 à 20 km/h d'augmentation ou de diminution de la vitesse

moyenne. Lorsque l'amplitude des variations augmente, les modèles fournissent des évolutions du risque divergentes.

Il est important de remarquer qu'en règle générale la probabilité d'accident grave varie plus que la probabilité d'accident léger lors d'un changement de la vitesse moyenne pratiquée : l'élasticité augmente avec la gravité des accidents.

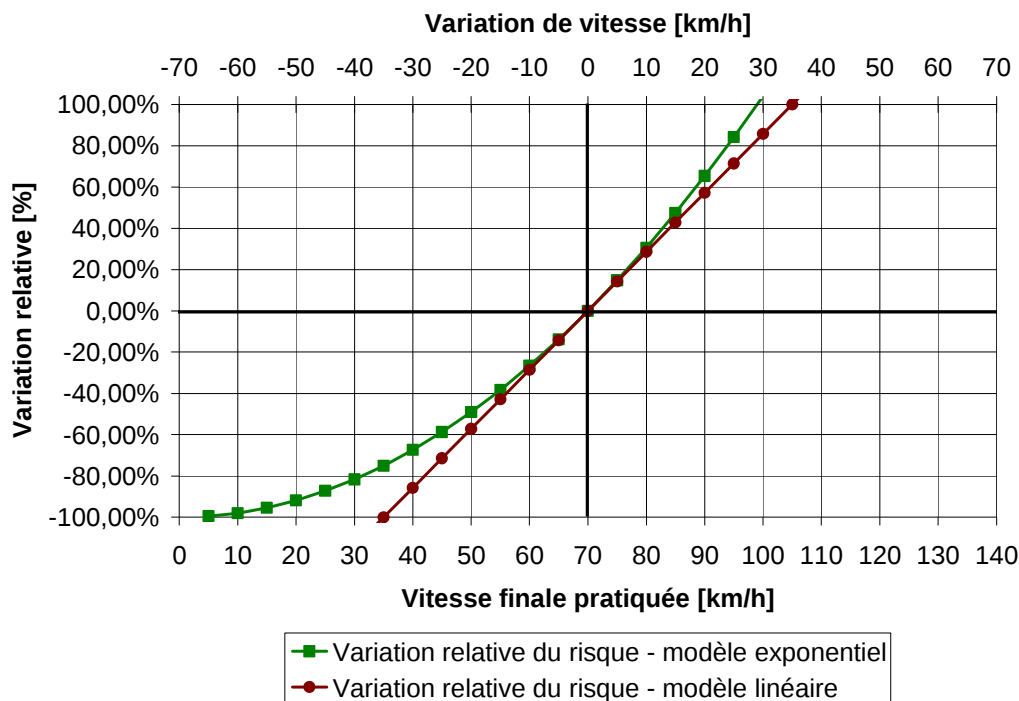


Figure 19 : variation relative du risque d'accident corporel (en considérant l'élasticité $e = 2$ et la constante $C = 2$) en fonction de la variation de vitesse pratiquée, à partir d'une situation de départ où la vitesse pratiquée serait de 70 km/h

La figure 19 présente la variation relative du risque d'accident, d'après les deux modèles présentés, en fonction de la variation de vitesse pratiquée, sur base d'une situation initiale où la vitesse pratiquée serait de 70 km/h en moyenne. Pour la création de ce graphique, on a considéré des valeurs de 2 pour la constante C et l'élasticité e . Cette valeur correspond à la limite inférieure des recommandations de la littérature pour le cas où on utilise le nombre d'accidents corporels comme indicateur du risque.

Une autre constatation importante, qui semble pourtant peu prise en considération dans la littérature, est le fait que l'élasticité de la variation de risque par rapport à la variation de vitesse évolue en fonction de la vitesse initiale. L'impact d'une mesure de réduction de la vitesse est plus faible dans le cas où la vitesse pratiquée initialement est plus élevée : l'élasticité du risque par rapport à la vitesse diminue quand la vitesse augmente. C'est cette tendance qu'illustre la figure 20, dans différents environnements (rural ou urbain,...).

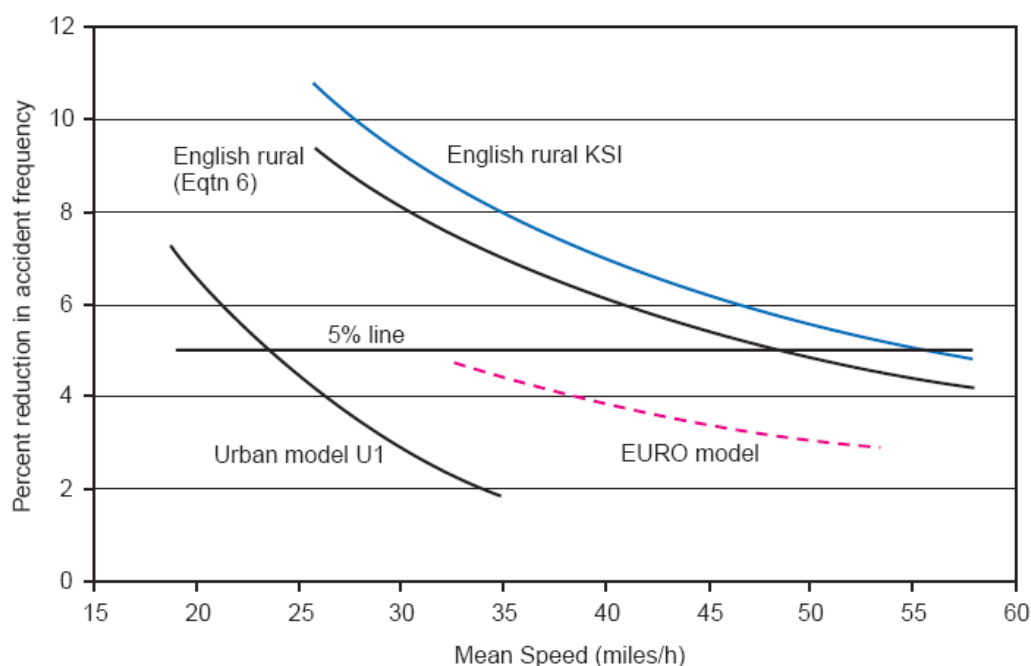


Figure 20 : évolution du rapport de la réduction relative de risque sur la réduction relative de vitesse en fonction de la vitesse initiale (1 mile $\approx$ 1,6 km) [TRL 2002]

Cette figure présente l'évolution en fonction de la vitesse de la variation (en pourcents) du risque d'accident qu'entraîne une variation d'un pourcent de la vitesse pratiquée.

On voit que, pour tous les modèles représentés (contexte urbain, contexte rural, étude européenne,...) la variation du risque en fonction de la vitesse est plus forte pour une vitesse initiale faible que pour une vitesse initiale élevée : à réduction relative de vitesse égale, l'impact sur la sécurité sera plus grand en partant d'une vitesse pratiquée faible qu'en partant d'une vitesse pratiquée élevée.

On voit aussi que, d'après les modèles représentés, les impacts sur la sécurité d'une baisse de vitesse sont globalement plus efficaces dans un contexte rural que dans un contexte urbain.

- *Exemples d'application*

Considérons deux scénarios hypothétiques mais envisageables : dans un premier cas, observons l'impact prévisible d'une augmentation de la vitesse pratiquée de 50 km/h à 70 km/h et dans un second, l'influence sur la sécurité d'une réduction de la vitesse pratiquée de 70 km/h à 50 km/h. Nous utiliserons pour ce faire un modèle simple, le modèle linéaire, qui permet d'obtenir facilement une approximation des effets de la vitesse sur la sécurité.

Ces deux scénarios sont directement comparables à des situations de la Région Bruxelles-Capitale et les impacts calculés sont ceux qui pourraient se produire selon les stratégies de contrôle des vitesses mises en place.

Nous évaluerons la probabilité d'accidents corporels, en étudiant le nombre d'accidents corporels survenant en un an. Pour cette catégorie d'accidents, différentes études montrent que nous pouvons poser une élasticité de l'ordre de 2.

Dans les deux scénarios envisagés, nous postulons que le nombre initial d'accidents avec blessés est de 100 par an.

Dans le premier cas, si la vitesse moyenne pratiquée augmente de 50 km/h à 70 km/h, soit une hausse de 40%, on observera une augmentation importante du nombre d'accidents corporels :

$$T_2 = T_1 (1 + e (V_2 - V_1) / V_1) = 100 (1 + 2 (70 - 50) / 50) \cong 180$$

On assisterait donc, selon le modèle linéaire, à une augmentation de 80 % du nombre d'accidents corporels pour une augmentation de vitesse de 40 %. Cette prédiction n'est pas exacte, mais elle permet toutefois de se rendre compte de manière réaliste de l'impact important que pourrait avoir une augmentation de la vitesse pratiquée sur certains axes. De plus, il est prévisible que l'évolution de la probabilité d'accidents mortels serait plus marquée encore que celle obtenue pour les accidents avec blessés au vu de l'élasticité plus élevée pour cette catégorie d'accidents plus grave.

Pour le deuxième scénario, la vitesse moyenne pratiquée diminue de 70 km/h à 50 km/h, soit une baisse de près de 29 %. Il est intéressant de remarquer que 70 km/h est proche de la vitesse moyenne pratiquée actuellement sur la majorité des axes concernés par cette étude, par exemple la petite ceinture (malgré les limitations généralement fixées à 50 km/h). Dans ce cas, on observerait une réduction notable du risque d'accidents corporels :

$$T_2 = T_1 (1 + e (V_2 - V_1) / V_1) = 100 (1 + 2 (50 - 70) / 70) \cong 43$$

Une réduction de 29 % de la vitesse pratiquée permettrait a priori d'obtenir une baisse spectaculaire du risque d'accident, de près de 57 %.

A l'étranger, plusieurs expériences ont permis de vérifier l'exactitude de ce type de constats dans la pratique. De nombreuses études ont montré le lien indissociable entre vitesse et risque d'accident et ont confirmé qu'une diminution de la vitesse pratiquée, même faible peut avoir un impact important, en réduisant fortement le risque d'accident.

Le Conseil Européen de la Sécurité du Transport (ETSC) a rassemblé en 1995 une série de résultats d'expériences internationales et a conclu qu'une réduction de la vitesse moyenne de 1km/h amenait à une réduction de 3% du nombre d'accidents.

En 1982, en Suisse, la vitesse limite a été réduite de 60 à 50 km/h en agglomération : on a observé une réduction de la vitesse pratiquée de 2 à 4 km/h et une diminution de 9 % des accidents de circulation.

En 1985, au Danemark, la vitesse limite a été réduite de 60 à 50 km/h en agglomération : une réduction des accidents de 9 % et une réduction du nombre de tués de 24 % ont été enregistrées dans les années qui ont suivi.

En 1987, aux Etats-Unis, la vitesse réglementaire a augmenté de 90 à 115 km/h sur certaines voies interurbaines. On a observé une augmentation de 3 % de la vitesse pratiquée et de 12 % du nombre de tués sur ces routes.

En 1987, à Melbourne en Australie, la vitesse limitée sur les autoroutes rurales est passée de 100 à 110 km/h, avec pour résultat une augmentation de 24,6 % du nombre d'accidents avec blessés. En conséquence, deux ans plus tard, en 1989, la vitesse limite a été à nouveau fixée à 100 km/h sur les mêmes autoroutes : on a pu constater une réduction de 19 % du nombre d'accidents avec blessés.

Plus récemment, en 1996 aux Etats-Unis, la vitesse réglementaire a connu une augmentation de 10 km/h sur certaines voies : le nombre de tués sur ces routes a augmenté de 12 %.

A Bruxelles, des mesures ont été effectuées dans le tunnel Léopold II en 2004 et 2005. Entre ces deux périodes la vitesse moyenne a diminué fortement, grâce notamment à une intensification des contrôles.

Tunnel Léopold II	Vitesse moyenne (en dehors des heures de pointe)	Nombre total d'accidents	Nombre d'accident avec blessés
2004	85km/h	25	13
2005	58 km/h	9	3
Diminution	32 %	64%	77%

Table 5 : mesures de vitesse et risque d'accident dans le tunnel Léopold II entre 2004 et 2005 – données de la zone de police Bruxelles Ouest

D'après ces données, on peut constater que de 2004 à 2005 la vitesse a diminué de 32 %. Le nombre total d'accidents a diminué de 64% soit 2 fois plus que la vitesse. Le nombre d'accident avec blessés a quant à lui diminué de 77% soit de manière encore plus significative.

La plupart des accidents se sont produits en dehors des heures de pointe, donc quand la vitesse était la plus élevée.

2.2.5. Dispersion des vitesses et probabilité d'accident

La dispersion des vitesses joue aussi un rôle important. Si différents véhicules se déplacent dans la même direction avec des vitesses différentes, il existe un risque d'accident qui augmente avec la différence entre les vitesses pratiquées. Ce risque se présente notamment lors des manœuvres.

Des problèmes peuvent notamment apparaître lors de la convergence de trafic lent et de trafic rapide ou lorsque de nombreuses voies d'accès ou des carrefours fréquents perturbent le parcours et augmentent la différence entre vitesses élevées et vitesses faibles. L'augmentation des vitesses mène à un plus fort accroissement du risque d'accident sur des voiries où des flux de circulation à vitesses fortement différentes sont présents et se mélangent.

Cette tendance peut s'expliquer par le fait que la dispersion des vitesses (sur une même bande ou entre les différentes bandes de circulation) engendre de nombreux dépassements et changements de file, des accélérations et des freinages, une augmentation générale du nombre de manœuvres, augmentant le risque d'accident.

Il semble que le risque d'accident augmente pour un conducteur lorsque sa vitesse s'éloigne de la vitesse moyenne du trafic (cfr notamment [Cohen et al. 1998]).

Nous avons constaté les vitesses pratiquées sur les axes étudiés sont largement supérieures à la vitesse réglementaire. La vitesse moyenne se situe le plus souvent au-dessus de la vitesse autorisée. Les rares conducteurs qui respectent la limitation, roulant moins vite que la vitesse moyenne pratiquée, sont donc en décalage par rapport au flux général du trafic. Ils pourraient donc courir un risque statistique d'accident plus élevé que la majorité des conducteurs, qui sont en infraction mais circulent à une vitesse plus proche de la vitesse moyenne.

Cette conclusion s'avère particulièrement injuste et met en évidence la problématique de l'irrespect généralisé des limitations : elle signifie la mise en danger significative d'une minorité respectueuse de la norme par le comportement des autres conducteurs.

Afin de diminuer ce risque, il paraît donc primordial d'assurer une dispersion des vitesses aussi réduite que possible et de veiller à ce que la vitesse moyenne pratiquée soit inférieure ou égale à la vitesse réglementaire afin de ne pas pénaliser les automobilistes respectant les limitations de vitesse.

2.2.6. Conclusion : une augmentation de vitesse implique directement une baisse de la sécurité

Comme nous l'avons vu, divers facteurs liés à la vitesse pratiquée influencent la sécurité routière. Ces facteurs sont associés au conducteur, au véhicule et au contexte.

Pour conclure, il convient de rappeler deux principes fondamentaux qui gouvernent la relation entre vitesses et sécurité.

D'une part, lorsque la vitesse des véhicules augmente, un accroissement à la fois du risque et de la gravité des accidents apparaît. En limitant les vitesses pratiquées, on limite donc directement le nombre d'accidents qui se produisent.

D'autre part, les différences de vitesses entre véhicules ont un impact sur la sécurité : si la dispersion des vitesses augmente, le risque d'accident croît. L'instauration d'un contexte de circulation cohérent dans lequel les véhicules se déplacent à des vitesses homogènes est primordiale pour la sécurité des usagers.

2.3. Effet sur la fluidité

Le débit de véhicules circulant sur une voirie dépend de plusieurs paramètres.

Le premier d'entre eux est la capacité théorique de cette voirie : d'après la théorie du trafic routier, une voie de circulation ne peut, selon sa configuration et sa géométrie, accepter qu'un débit limité. Une fois ce débit atteint ou dépassé, la congestion apparaît.

Un second élément important, qui vient se superposer au phénomène de saturation de la voirie, est la congestion due aux incidents et accidents qui réduisent artificiellement et temporairement la capacité.

Il apparaît après analyse que la vitesse pratiquée n'a que peu d'impact sur le temps gagné lors d'un trajet en ville. Par contre, la probabilité accrue d'accidents consécutive à une augmentation de la vitesse pratiquée constitue un handicap pour la fluidité du trafic.

2.3.1. Capacité théorique des voiries

2.3.1.a. Théorie classique du trafic

La théorie du trafic tente de modéliser la manière dont le débit, la densité et la vitesse des véhicules évoluent selon les caractéristiques de la voirie et les conditions de trafic. Elle permet de déterminer les conditions optimales d'utilisation de la voie (c'est-à-dire qui correspondent au débit maximum).

Une relation simple existe entre le débit, la densité et la vitesse des véhicules, qui permet toujours de déterminer un de ces paramètres en connaissant les deux autres.

$$Q = \rho \cdot V$$

où

Q est le débit, en véhicules par unité de temps

ρ est la densité du flux, en véhicules par unité de longueur de la voirie

V est la vitesse moyenne des véhicules, en unité de longueur par unité de temps

En toute généralité, le débit peut donc être considéré comme une fonction de la vitesse et de la densité des véhicules.

$$Q = Q(\rho, V)$$

On considère souvent comme hypothèse que la densité de véhicules est directement liée à la vitesse, en raison du comportement habituel des conducteurs : par confort ou par habitude, les usagers tendent à maintenir entre les véhicules une distance de sécurité qui dépend de la vitesse à laquelle ils circulent. Or, c'est cette distance entre véhicules qui définit la densité du trafic sur un tronçon.

$$\rho = \rho(V)$$

On peut donc, théoriquement, exprimer directement le débit Q comme une fonction de la vitesse.

$$Q = Q(\rho(V), V) = Q(V)$$

Différentes études se sont penchées sur les phénomènes qui apparaissent dans le trafic routier. La plupart des études ont considéré des systèmes élémentaires, principalement des autoroutes dans des sections simples, sans embranchements.

Ces études ont permis de mettre en évidence l'allure générale de la relation entre débit et vitesse, qu'on appelle parfois relation fondamentale de la théorie du trafic. En régime fluide, lorsque le débit de véhicules augmente, la vitesse des véhicules diminue progressivement jusqu'à ce que soit atteint un débit maximum (aussi appelé débit critique ou débit de saturation) propre à la voirie. A ce débit critique correspond donc une vitesse critique. Une fois ce débit atteint, le trafic passe en régime congestionné (ou saturé) : la vitesse diminue brusquement, de même que le débit.

- *Régimes de trafic*

Deux configurations récurrentes du trafic sont observables en l'absence d'incident. Une première configuration, que nous appellerons le trafic libre, correspond à un débit de véhicules faible à moyen, inférieur au débit théorique maximal de la voirie, associé à des vitesses élevées. Ces configurations peuvent être représentées sur des diagrammes débit-vitesse, vitesse-densité ou débit-densité.

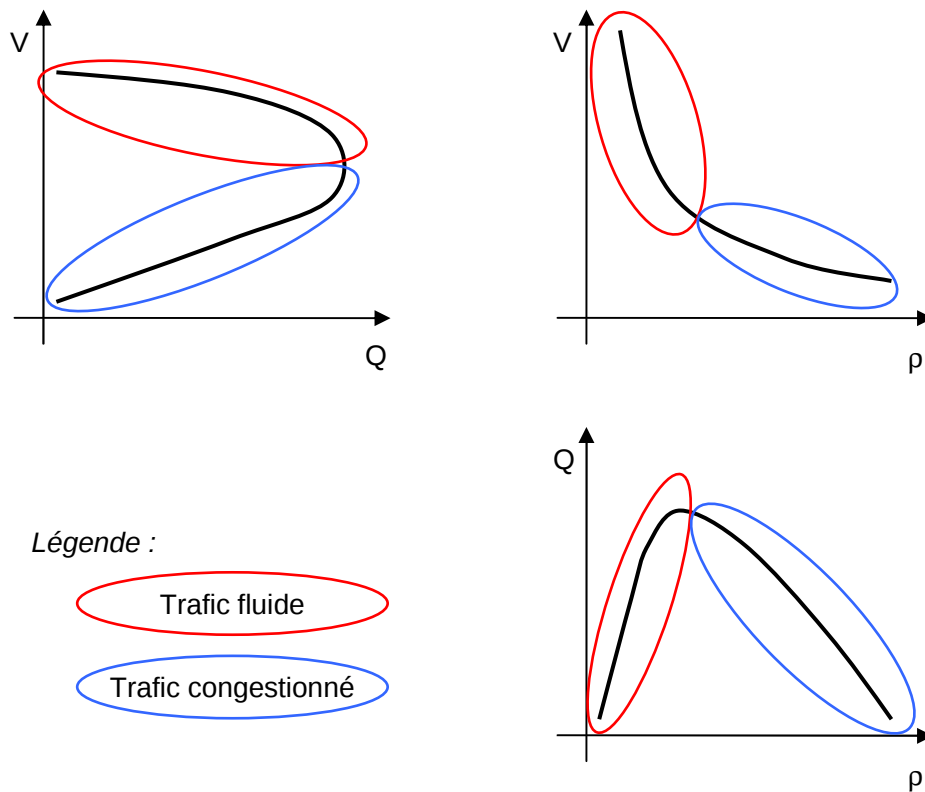


Figure 21 : allure des relations entre débit (Q [véhic./15 min]), vitesse (V [km/h]) et densité (ρ [véhic./m]) du trafic (d'après [Federal Highway Administration 1997])

La deuxième configuration, que nous appellerons trafic saturé, apparaît lorsque le débit augmente, et qu'il dépasse une valeur critique (débit de saturation de la voirie, environ 2200 véhicules par heure et par bande de circulation pour une voirie de type autoroutier). Le trafic saturé peut également apparaître lorsqu'un incident réduit artificiellement la capacité de la voirie. Les vitesses diminuent significativement. Le débit diminue aussi, bien que de manière moins marquée (en raison de l'augmentation de la densité du trafic qui est souvent associée à une diminution de la vitesse).

On peut donc différencier les deux configurations décrites ci-dessus en fonction du débit de véhicules qui se présente en amont d'une section donnée, et de l'état du système qui apparaît à la suite de ces conditions initiales de débit. On pourrait appeler circulation subcritique le cas où le débit est inférieur au débit critique propre à la section. De même, on pourrait appeler circulation supercritique le cas où le débit en amont serait supérieur au débit critique de la section (causant ainsi de la congestion et réduisant le débit absorbable par la section de voirie).

Dans la théorie classique du trafic, définie sur autoroute, l'optimum de vitesse était situé aux alentours de 60 km/h. A cette vitesse, le débit de véhicules était maximum, environ 2200 véhicules par heure et par bande de circulation.

2.3.1.b. Critique du modèle classique et application aux axes étudiés

Le modèle classique du trafic a été développé, très largement, sur autoroute. Les voiries urbaines ne sont donc pas des cas d'application directe de ce modèle. Plusieurs éléments doivent être pris en considération qui diffèrent des hypothèses du modèle : le comportement des usagers, la configuration des voies, les interactions avec l'environnement urbain,...

Ces conditions différentes font apparaître des caractéristiques du trafic divergeant parfois fortement des modélisations.

Sur les exemples des figures 22 et 23, on observe que la vitesse associée au débit maximum n'apparaît pas aussi clairement que dans le schéma théorique : on observe des conditions de débit maximum pour une gamme de vitesses assez large, souvent comprise entre 30 et 60 km/h. Il s'avère impossible de déterminer avec précision une seule vitesse optimale du point de vue du débit.

Cette différence semble devoir s'expliquer par le comportement des conducteurs : les distances intervéhiculaires observées sont souvent réduites, et n'évoluent que peu en fonction de la vitesse du trafic. Ce paramètre joue donc probablement un rôle de tampon qui permet au débit de rester élevé sur une gamme de vitesses relativement large.

- *Vitesse optimale indéfinie*

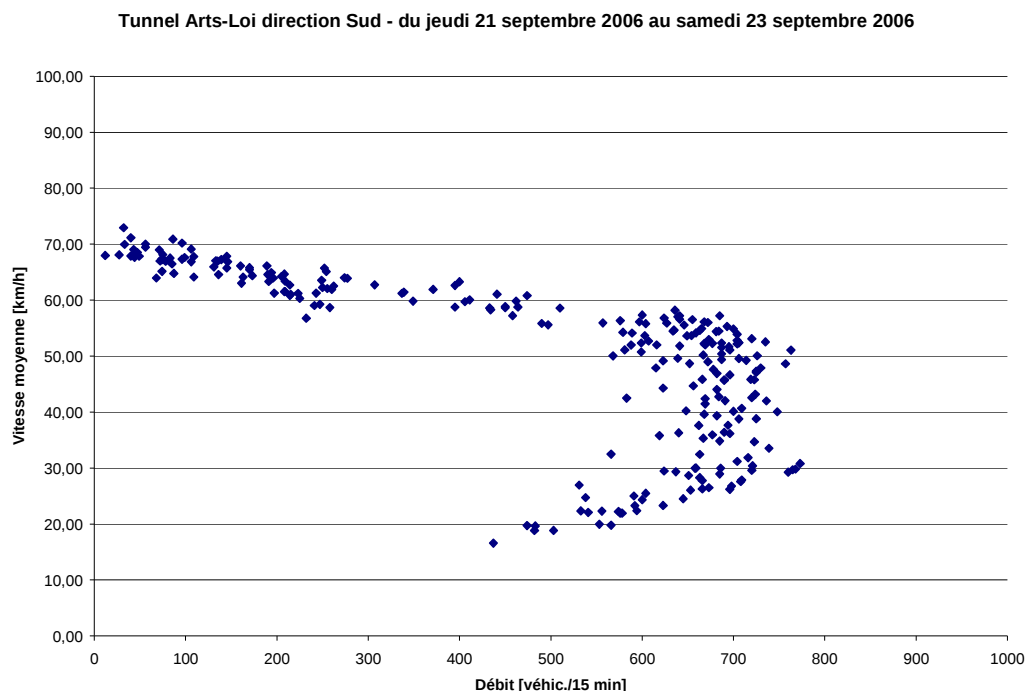


Figure 22 : courbe débit-vitesse dans le tunnel Arts-Loi en direction du Midi, mesures du jeudi 21 au samedi 23 septembre 2006

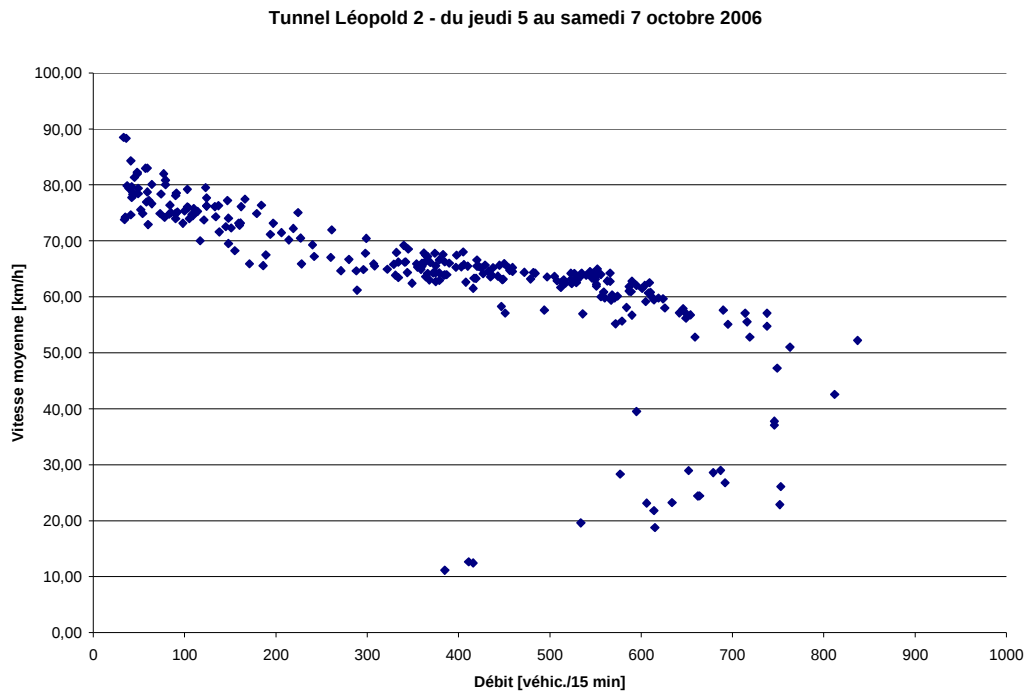


Figure 23 : courbe débit-vitesse dans le tunnel Léopold II en direction de la sortie de la ville, mesures du jeudi 5 au samedi 7 octobre 2006

- *Interactions avec le milieu urbain et limitation des débits*

Des différences fondamentales des voiries étudiées par rapport aux hypothèses du modèle classique sont le nombre et la fréquence des points d'interaction avec le milieu extérieur. Les entrées et sorties de véhicules sont autant de zones de perturbation du trafic qui réduisent systématiquement la capacité.

Les zones d'échanges (insertion et choix de directions) sont des goulots d'étranglement dans lesquels le débit maximal est systématiquement limité. Les carrefours à feux présents à certaines sorties réduisent également la capacité (notamment à cause des remontées de files qui se produisent régulièrement).

Cette observation permet, en parallèle avec les différences de géométrie et de configuration, d'expliquer que le débit maximal observé (dans les tunnels de l'étude) soit généralement beaucoup plus faible que le débit maximal théorique (sur autoroute).

La théorie prévoyait un débit maximal par bande de circulation proche de 2200 véhicules par heure. Sur les voiries urbaines de l'étude, les débits maximaux observés (qui varient en fonction des tunnels mais restent dans des ordres de grandeur comparables) sont le plus souvent de l'ordre de 1200 à 1400 véhicules par heure et par voie de circulation (soit 600 à 700 véhicules par 15 minutes pour 2 bandes ou 300 à 350 véhicules par 15 minutes pour 1 bande de circulation).

- *Conclusion*

La théorie classique du trafic ne semble pas applicable aux voiries de l'étude pour déterminer la vitesse optimisant le débit. Il serait utile de réaliser une étude plus

approfondie sur les différents régimes de circulation dans le cas particulier des voiries urbaines, prenant en compte notamment les interactions avec les voiries avoisinantes.

Nous pouvons cependant retenir que, dans la majorité des cas, la fluidité maximale est obtenue lorsque la vitesse est comprise entre 30 et 60 km/h. En journée (en régime fluide) la vitesse moyenne observée pour un trafic en régime fluide est souvent supérieure à 65 km/h, voire 75 km/h (avec des variations entre les axes et les sens de circulation). Cette gamme de vitesses ne permet pas d'atteindre les débits maximaux. Elle entraîne, le plus souvent, une transition rapide vers le régime congestionné.

2.3.2. Influence des incidents

Les incidents de circulation (accidents, pannes et autres incidents divers) ont une forte influence sur la fluidité du trafic. L'encombrement de la voirie qu'ils produisent cause une réduction de la capacité des voiries et une congestion du trafic.

De plus, lorsque les incidents interviennent en dehors des périodes de congestion, l'encombrement d'une voie de circulation pose d'importants risques de suraccident.

Nous analysons les incidents survenus sur un an (données Mobiris) en fonction de leur durée, de leur répartition dans le temps. Nous mettrons également en évidence dans les données, de manière simplifiée, le lien entre vitesse pratiquée et risque d'accident.

2.3.2.a. Durée des incidents

Les incidents se produisant sur la voirie créent une gêne à la circulation. Il peut être intéressant d'analyser la durée moyenne et cumulée que représente cette gêne sur un an.

En utilisant les relevés de Mobiris, il est possible de dresser un état des lieux des accidents se produisant dans les tunnels. On a pu dessiner le graphique de la répartition en durée des incidents relevés.

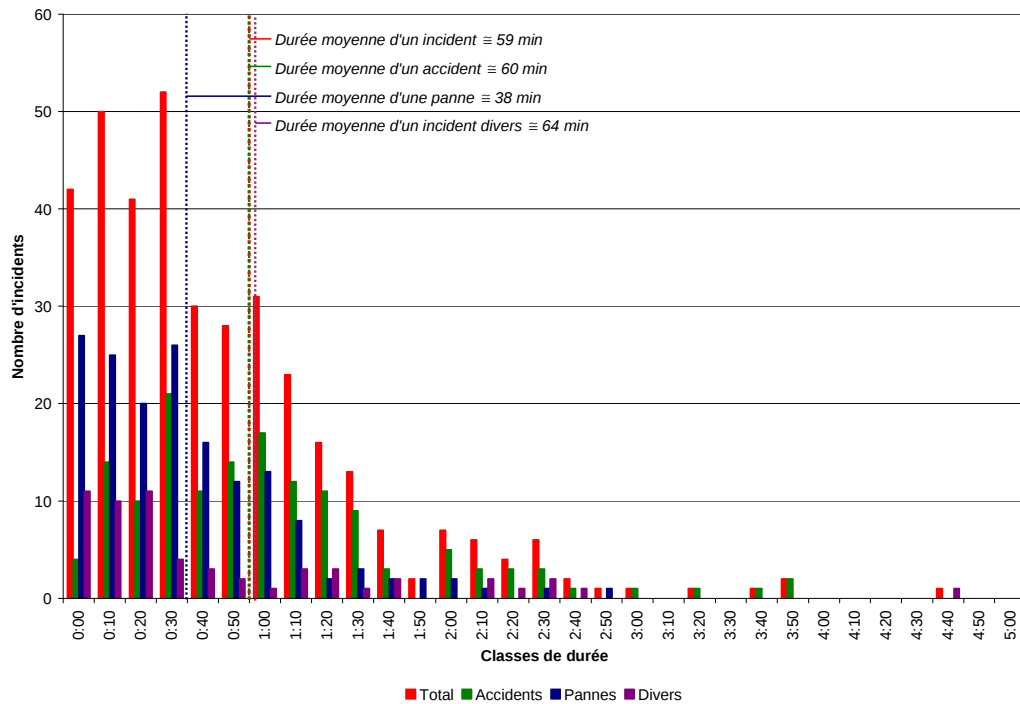


Figure 24 : nombre d'incidents par type et par durée
(données du centre Mobiris, entre septembre 2005 et octobre 2006)

La figure 24 présente la répartition des accidents, pannes et incidents divers en fonction de la durée d'encombrement de la voirie qu'ils ont occasionné. Il semble logique que, globalement, le nombre d'incidents longs soit bien plus faible que celui d'incidents courts.

On peut aussi remarquer qu'il y a apparemment beaucoup de pannes relativement courtes (moins de 50 minutes) tandis que les accidents sont plutôt concentrés dans les durées moyennes (de 30 minutes à 1h30). La durée moyenne d'un accident est de 60 minutes tandis que celle d'une panne est de 38 minutes (entre le début de l'encombrement de la chaussée et le déblocage).

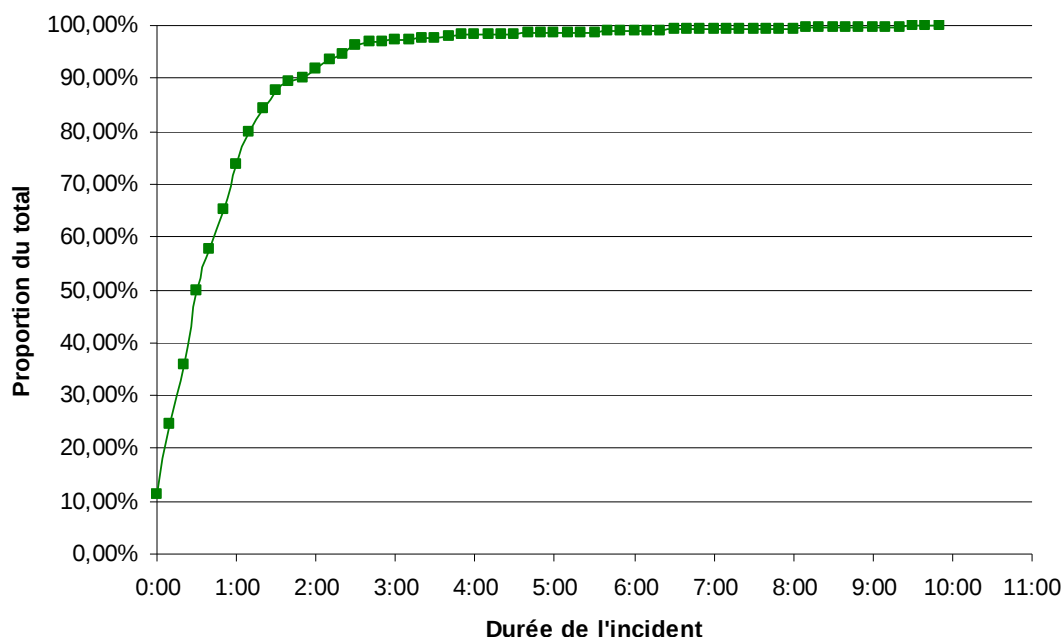


Figure 25 : répartition des incidents selon la durée
(données du centre Mobiris, entre septembre 2005 et octobre 2006)

La figure 25 indique la proportion d'incidents ayant eu une durée inférieure à une durée donnée par rapport au nombre total d'incidents.

On voit que 50 % des incidents encombrent la voirie moins d'une demi-heure. 90 % des incidents durent moins de 2 heures.

On a pu dénombrer un total de plus de 400 heures de durée cumulée des incidents rapportés par Mobiris sur une période d'un an, pour l'ensemble des tunnels. Cela correspond à plus de 16 jours et nuits d'encombrement de la chaussée en un an, soit plus de 4,4 % du temps.

La durée cumulée des accidents est approximativement de 179 heures (7 jours et 11 heures par an, à peu près 2,0 % de l'année), tandis que celle des pannes est de 120 heures (5 jours par an, soit un peu plus de 1,4 % de l'année).

On a compté dans ces développements uniquement le temps d'encombrement effectif rapporté dans les relevés de Mobiris, mesuré entre le moment où une gêne pour le trafic apparaît (par exemple lorsqu'un véhicule est immobilisé sur les voies de circulation) et celui où la voie est libérée (une fois le véhicule en question évacué).

Il faudrait encore tenir compte de l'influence spatiale et temporelle réelle de ces événements : ils ne perturbent pas uniquement la circulation au lieu et au moment où ils se produisent mais également sur la voirie en amont (influence spatiale) et pendant un certain temps après la libération de la chaussée (avant que la circulation ne redevienne normale – influence temporelle). La durée totale de perturbation effective sur un an doit donc être considérablement plus élevée que celle exprimée ci-dessus.

Toutefois, comme nous l'avons vu, les données d'incidents récoltées par Mobiris ne sont pas exhaustives. Il faudrait donc, en toute rigueur, revoir encore à la hausse ces durées totales cumulées.

Lors de ces incidents, il n'existe actuellement que peu de systèmes d'information des usagers sur l'état de la route. Des panneaux d'affichage textuel sont présents au-dessus des entrées de tunnels mais leur taille est limitée et de même les messages qu'ils peuvent transmettre. Les informations par radio (info-traffic) permettent de tenir au courant les conducteurs, même si l'information reste relativement imprécise. Pour tous ces canaux, le problème de la détection des accidents reste cependant le plus gros frein à une information de qualité.

Au vu de la mauvaise information des usagers sur les incidents survenant sur la voirie, le risque de suraccident semble très important. Le développement d'un système dynamique de détection des incidents et d'information des usagers, en parallèle avec une définition claire des procédures à suivre en cas de problème, semblent des étapes nécessaires dans l'avenir.

- *Exemple d'application*

Nous pouvons tenter de prévoir l'impact qu'aurait une réduction de la vitesse sur le temps de perturbation du trafic. Pour ce faire, nous utiliserons le modèle linéaire vu au chapitre 2.4 qui lie vitesse et risque d'accident. Pour les accidents matériels, l'élasticité peut être prise égale à 1,5. Si nous supposons que la vitesse moyenne pratiquée passe de 70 km/h à 50 km/h, nous pouvons estimer la baisse du risque d'accident matériel :

$$T_2 = T_1 (1 + e (V_2 - V_1) / V_1) = 100 (1 + 1,5 (50 - 70) / 70) \cong 57$$

Il y aurait donc une réduction de près de 43 % du nombre d'accidents matériels et donc une réduction plus élevée encore des accidents plus graves (puisque ces autres catégories d'accidents sont associées à des élasticités plus élevées).

Pour simplifier le calcul, nous pouvons supposer que tous les accidents causant des perturbations du trafic verraient leur probabilité réduite dans cette proportion. Il s'agit cependant de se rappeler qu'en pratique, le risque des catégories d'accidents plus graves se réduirait plus largement. De plus, il faut être attentif au fait que seuls les accidents seraient influencés par une baisse de la vitesse : le nombre de pannes ne serait pas réduit par cette mesure.

Sur cette base et si nous posons l'hypothèse que la répartition statistique des durées resterait semblable malgré la baisse des vitesses, nous pouvons évaluer par une simple règle de trois la durée totale cumulée des perturbations du trafic.

$$D_2 = D_1 (T_2 / T_1) = 179 (57 / 100) \cong 102 [h]$$

où

D est la durée cumulée des incidents qui perturbent le trafic ;

T est le risque d'incidents.

La durée totale de gêne de la circulation due à des incidents serait donc réduite approximativement à 102 heures (soit 4 jours et 6 heures sur une année, 1 % du temps total). Il s'agit bien sûr d'une estimation, dont l'exactitude est conditionnée par les hypothèses posées.

2.3.2.b. Répartition des incidents dans le temps et influence de la vitesse

Nous avons relevé tous les accidents sur les voiries étudiées pendant une année et nous les avons classés selon le jour de la semaine et l'heure du jour auxquels ils se sont produits. De cette manière, on peut tracer un profil statistique (cfr figure 26) indiquant l'évolution du nombre d'accidents par an, répartis selon la période de la semaine à laquelle ils se sont produits. Ce profil peut être considéré comme une semaine type en ce qui concerne la probabilité d'accidents.

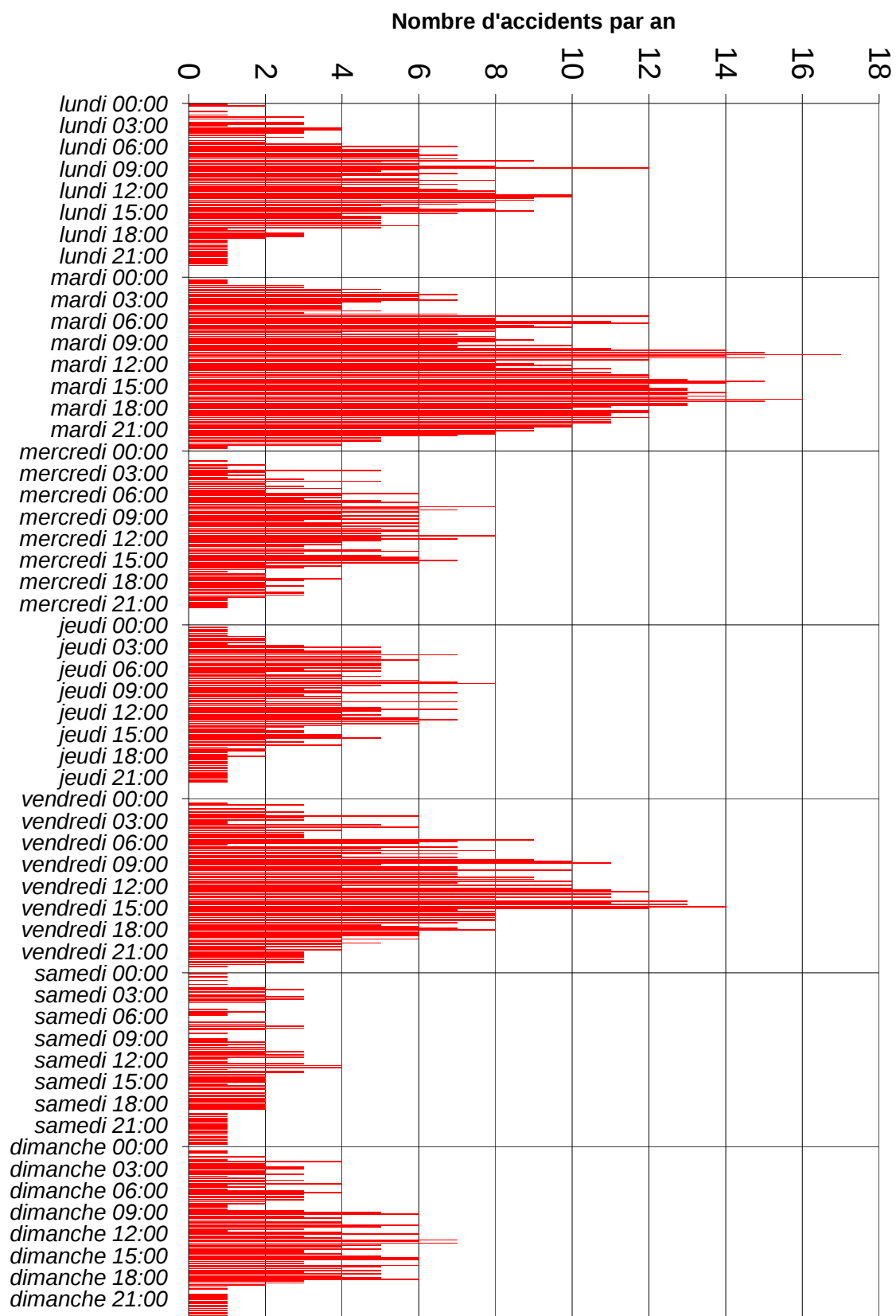
Ce profil doit être mis en relation avec le nombre de véhicules circulant sur les voiries aux différentes périodes du jour et de la semaine. Par exemple, le nombre d'accident apparaît très faible pour certaines périodes creuses lors desquelles le nombre de véhicules présents est très réduit. Il semble donc logique que peu d'accidents se produisent à ce moment. Cependant, proportionnellement au nombre de véhicules circulant à ces moments, le risque d'accidents est globalement plus élevé.

Pour mieux visualiser cet effet, on peut créer un indicateur du risque d'accident relatif, en divisant le nombre d'accident s'étant produits à une heure donnée de la journée, un jour donné de la semaine, par le débit moyen sur les voiries à ce moment. On obtient ainsi un niveau global de risque d'accident pondéré par le débit moyen.

Le débit moyen est pris sur une journée considérée comme représentative, au cours de laquelle aucun incident notoire n'est survenu.

En utilisant cette construction d'indicateur de risque relatif, on obtient une ébauche de l'évolution statistique du risque d'accident pour chaque jour de la semaine et au cours de ces journées. En parallèle à ce profil de risque, on connaît aussi, par l'observation des relevés de vitesses dans les différents tunnels de l'étude, l'évolution des vitesses moyennes au cours de la journée.

Figure 26 : nombre d'accidents par an répartis selon le jour et l'heure
(données Mobiris entre octobre 2005 et septembre 2006)



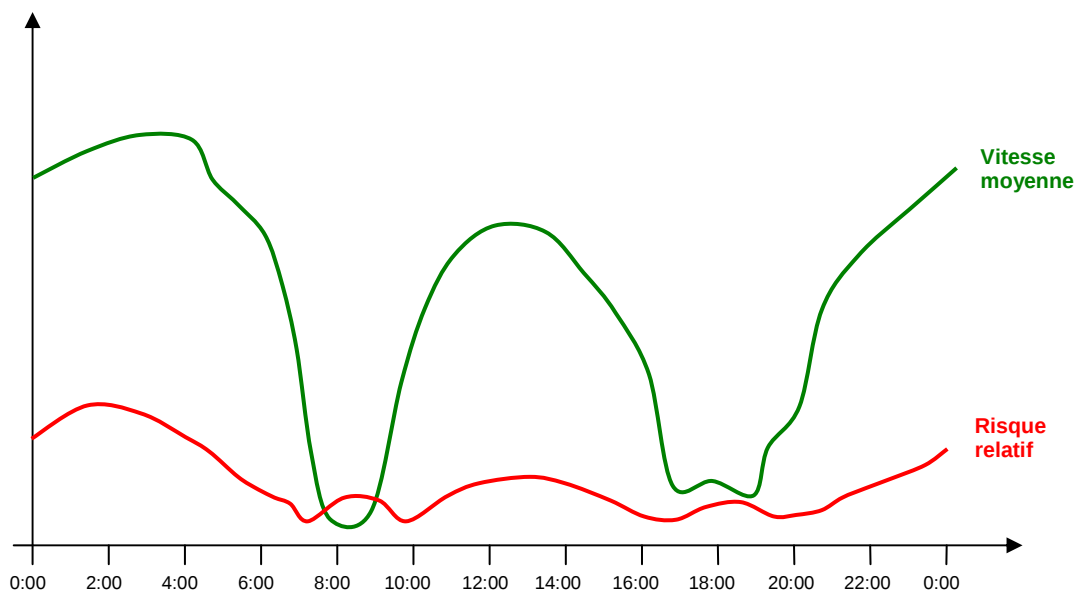


Figure 27 : *représentation simplifiée d'un exemple d'évolution de la vitesse moyenne et du risque relatif d'accident (pondéré par le débit moyen de véhicules) au cours d'un jour représentatif de semaine*

A la figure 27, on a dessiné de manière simplifiée et idéalisée deux profils de risque relatif et de vitesse moyenne. Ces courbes sont des ébauches mais révèlent des phénomènes qui ont été régulièrement observés dans l'analyse des mesures effectuées dans les tunnels bruxellois.

En observant les courbes, on constate un lien entre vitesse moyenne et risque d'accident. On remarque également une légère augmentation du risque d'accident aux heures de pointes, en régime de congestion.

Le risque le plus élevé se situe toutefois clairement de nuit, lorsque les mauvaises conditions de visibilité sont associées à une vitesse moyenne élevée (en général environ 10 km/h de plus qu'en journée pour la vitesse moyenne) et à une grande dispersion des vitesses pratiquées (forte proportion de vitesses particulièrement élevées et de vitesses faibles).

En conclusion, il semble donc que la vitesse pratiquée soit un élément déterminant du nombre d'accidents. En effet, même si le nombre de véhicules est plus élevé, le nombre d'accidents reste faible lorsque le trafic approche de la saturation et que les vitesses sont plus réduites. Par contre, le risque relatif d'accident augmente lorsque les vitesses sont plus élevées, même si le nombre de véhicules est limité (par exemple de nuit).

2.3.2.c. Impact d'un accident sur la circulation

A la figure 28, on compare, dans un même tunnel, une journée représentative sans incident et une journée lors de laquelle un accident s'est produit.

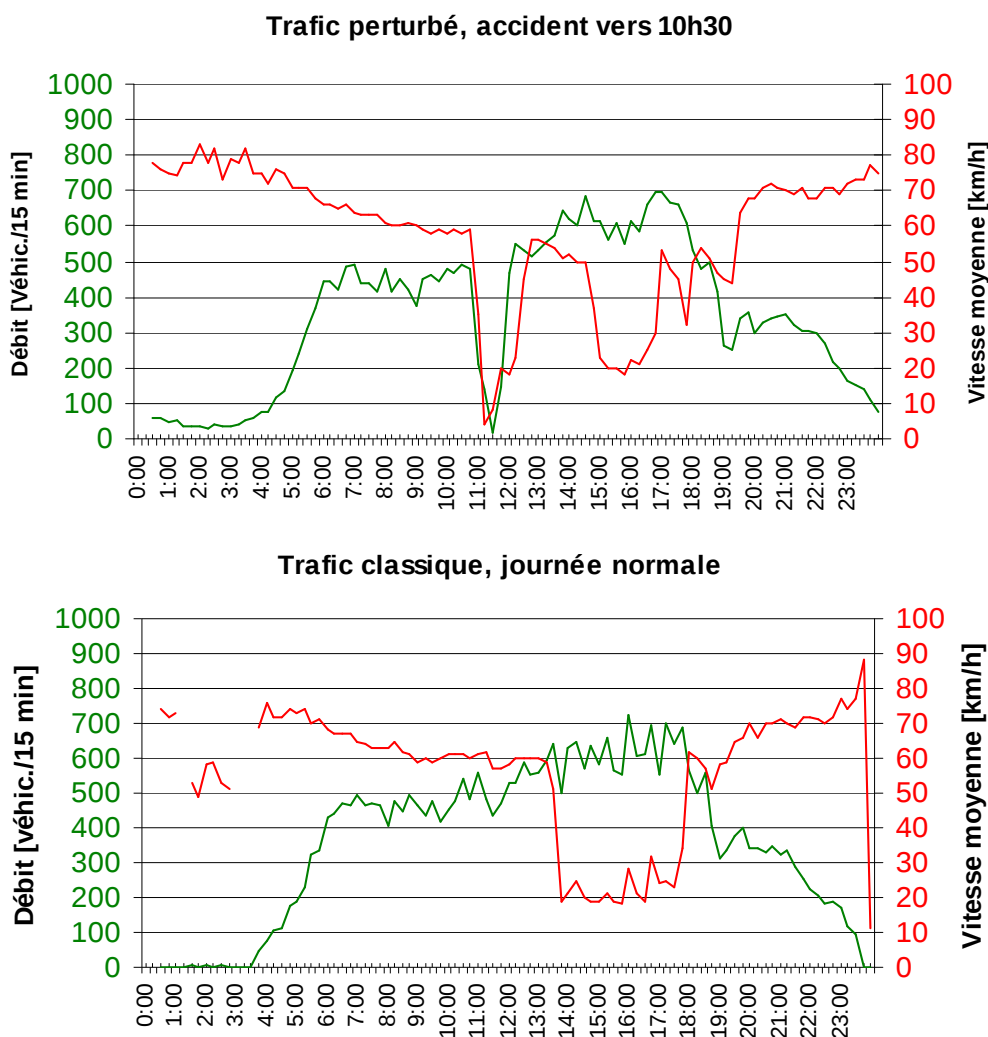


Figure 28 : comparaison de la vitesse moyenne et du débit lors d'une journée représentative sans accident et lors d'une journée où un accident s'est produit qui a entraîné la fermeture du tunnel Léopold II

On voit les conséquences de l'accident sur le graphique : une baisse brusque du débit et de la vitesse moyenne se produit à un moment où la circulation est habituellement fluide avec un débit élevé.

2.3.3. Temps gagné à une vitesse plus élevée

En ville, les gains de temps obtenus par une augmentation de vitesse sont négligeables par rapport aux pertes de temps dues aux attentes aux feux, carrefours,...

En effet, les tronçons entre carrefours sont relativement courts et ne permettent pas de maintenir des vitesses élevées pendant de longues périodes. En tenant compte des durées nécessaires pour les accélérations et décélérations, la vitesse maximale

n'est atteinte que pendant un temps très court et ne permet donc pas un gain de temps significatif.

- *Exemples d'application*

Considérons deux tunnels, le tunnel Léopold II et le tunnel Botanique, en posant l'hypothèse d'un parcours fluide et sans tenir compte des pertes de temps dues aux éventuelles accélérations et décélérations. On suppose donc une vitesse constante du début à la fin du tunnel, ce qui apparaît en pratique comme rarement réalisé. Les temps de parcours dans ces conditions pour des vitesses de 50 et 70 km/h sont indiquées dans le tableau 6.

Tunnel	Longueur	Temps de parcours à une vitesse de 50 km/h	Temps de parcours à une vitesse de 70 km/h	Gain de temps si on passe de 50 à 70 km/h
Léopold II	2560 m	185 s soit 3 min 05 s	132 s soit 2 min 12 s	53 s
Botanique	255 m	19 s	14 s	5 s

Table 6 : exemples de temps de parcours estimés, à des vitesses de 50 et 70 km/h

Le tunnel Léopold II est le plus long tunnel de l'étude. On peut constater que le gain de temps dans ce tunnel serait environ de 50 secondes, dans l'hypothèse où aucun ralentissement ne se produirait dans le tunnel et en ne tenant pas compte des périodes d'accélération et de décélération. Ce n'est pas le cas en pratique, puisque des entrées et sorties sont présentes le long du tunnel, qui réduisent largement la durée des tronçons ininterrompus. De plus, la densité de circulation est souvent élevée dans le tunnel et entraîne systématiquement des ralentissements voire des files.

Dans l'exemple du tunnel Botanique, plus représentatif des longueurs de tunnels à Bruxelles, le gain de temps est dérisoire, même en considérant des hypothèses utopiques de circulation fluide, constante et ininterrompue.

2.3.4. Conclusion : une augmentation de la vitesse implique directement et indirectement une réduction de la fluidité du trafic

Nous avons vu que les vitesses pratiquées en régime fluide sont souvent hors des gammes de vitesses permettant d'atteindre un débit optimal sur les voiries bruxelloises. En effet, ce débit maximal peut être obtenu pour des vitesses comprises entre 30 et 60 km/h, selon la situation de trafic et la voirie concernée.

Une réduction des vitesses pratiquées apporterait une amélioration du transit dans les situations proches de la congestion, lorsque la densité de véhicules est particulièrement élevée.

De plus, le temps gagné sur un parcours lorsqu'une vitesse élevée est pratiquée n'est en général pas significatif par rapport à une vitesse plus faible. Le gain de temps en tronçon dû à la vitesse élevée, qui doit être pondéré par le temps nécessaire à

l'accélération et à la décélération, est contrecarré par les pertes de temps aux intersections (temps d'attente au feu, ralentissement dus au trafic,...).

Par contre, le nombre d'accidents et d'incidents survenant sur les voiries a une influence considérable sur le temps de parcours. En effet, chaque incident génère une gêne dans le trafic et crée des troubles de la circulation qui handicapent un grand nombre de véhicules pendant de longues périodes. En conséquence, le risque d'accident a un impact direct sur la fluidité du trafic dans la ville.

Il a été démontré dans la littérature et observé sur les voiries étudiées que la vitesse pratiquée est en relation directe avec le risque d'accident. Une vitesse plus élevée implique donc une élévation du nombre d'incidents perturbant le trafic et une réduction de la fluidité de la circulation.

2.4. Effet sur l'environnement

La circulation routière exerce un impact important sur l'environnement.

En ville, le trafic génère des nuisances sonores et de la pollution atmosphérique. La vitesse pratiquée a un impact important sur ces nuisances.

2.4.1. Bruit et pollution sonore

2.4.1.a. Bruit, définition et mesure

Le son est une onde qui se propage dans l'air. Elle peut être caractérisée par son amplitude et par sa longueur d'onde. L'amplitude définit l'intensité du son (fort ou faible) et la longueur d'onde définit sa fréquence, sa tonalité (aiguë ou grave).

Le bruit est un ensemble de sons dont la superposition procure une sensation désagréable.

L'intensité d'un son correspond à l'amplitude de l'onde, qu'on appelle aussi niveau pression acoustique. Le décibel est l'unité de mesure de la pression acoustique. Le niveau de 0 dB correspond au seuil d'audibilité de l'être humain alors qu'un niveau de 120 dB correspond au seuil de douleur pour lequel il y a risque de lésion rapide et irréversible de l'ouïe.

Exemples de différents niveaux de décibel dans la vie courante

- salle de séjour calme 40 dB
- bruit de conversation animée 70 dB
- carrefour animé 80 dB
- concert de musique pop 110 dB

La mesure du son en décibel correspond à une échelle logarithmique : le doublement d'une source du bruit n'entraîne donc pas un doublement de la mesure en décibels mais une augmentation de seulement 3 dB. Il faut prendre garde à ce que cette particularité de l'échelle de mesure utilisée pour la détermination du niveau sonore a des implications importantes sur la prise en compte de la pollution sonore : une augmentation apparemment faible du nombre de décibels enregistrés correspond dans la pratique à une forte augmentation du volume sonore.

2.4.1.b. Bruit généré par la circulation automobile :

Le bruit fait partie intégrante de notre environnement urbain. A Bruxelles, le caractère bruyant de la ville est ressenti très négativement par la population (source : [IBGE]). Les habitants considèrent le bruit comme une des nuisances les plus gênantes.

Parmi les différentes sources de bruit, c'est la circulation automobile qui est considérée comme la première nuisance. Viennent ensuite le bruit des avions, des installations (chantiers, conditionnement d'air,...), de voisinage, du train et du tram.

A Bruxelles, le niveau sonore dépasse 65 dB(A) (moyenne sur la période de jour) sur plus de 25 % des voiries. Cette valeur est considérée par le Plan Bruit comme le seuil au-delà duquel une gêne est très nettement ressentie et où il devient nécessaire de prendre des mesures pour diminuer le niveau sonore.

Le bruit routier dépend principalement du débit et de la vitesse du trafic. Une conduite nerveuse ou une circulation saccadée influencent la production de bruit. Enfin le revêtement et le type d'aménagement des voiries ont aussi un impact important.

A 50 km/h une voiture émet un bruit d'une intensité de 68 dB(A) (80 dB(A) pour un camion). A 70 km/h le bruit émis sera d'une intensité de 73 dB(A), pour 77 dB(A) à 90 km/h.

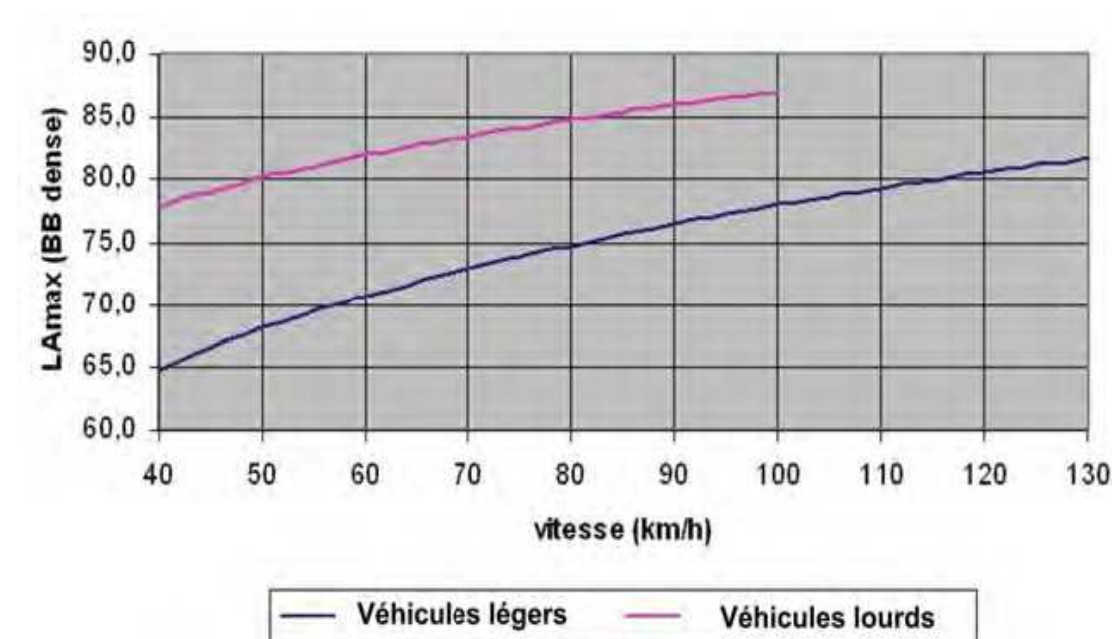


Figure 29 : bruit total émis par un véhicule en fonction de sa vitesse selon la méthode de calcul néerlandaise SRM (extrait de [IBGE, Vade-mecum du bruit routier urbain])

Enfin, rappelons que le bruit engendré par 2 sources sonores identiques implique une hausse de 3 dB par rapport au bruit émis par une seule des 2 sources. Donc si le niveau de bruit L_{AeqT} causé par 50 voitures en une heure est de 60 dB, il sera de l'ordre de 63 dB pour 100 voitures et de 69 dB pour 400 voitures. L_{AeqT} est une mesure de niveau acoustique équivalent, égale à la moyenne des niveaux de bruits perçus pendant une durée déterminée.

2.4.1.c. Plan Bruit

Afin de diminuer le niveau de bruit à Bruxelles tout en préservant les différentes fonctions de la ville, un « plan de lutte contre le bruit en milieu urbain » appelé plus communément « Plan Bruit » a été adopté en juin 2000. La mise en œuvre du plan est évaluée tous les 30 mois.

Le plan bruit prévoit 3 types de mesures :

- l'approche stratégique vise à réduire la pression automobile en encourageant l'utilisation d'autres moyens de transport et à diminuer les nuisances dans les quartiers résidentiels par la spécialisation des voiries ;
- l'approche préventive comprend la réalisation d'un cadastre de bruit et d'un guide de bonne pratique pour l'aménagement urbain ;
- l'approche curative a pour but de s'attaquer concrètement aux problèmes de bruit les plus criants de la Région grâce à l'établissement d'une liste de points noirs.

Les 17 points noirs routiers du plan bruit sont des zones habitées qui font l'objet d'une concentration de sources de bruit et/ou d'un nombre élevé de plaintes.

Par ailleurs, 11 parcs régionaux sont considérés comme des points noirs.

2.4.1.d. Application aux axes étudiés

Parmi les points noirs routiers se retrouvent 3 des axes concernés par cette étude, à savoir l'Avenue Charles Quint, le boulevard de la Woluwe et la continuité de boulevards formée par les avenues Général Wahis, Reyers et Lambermont.

Pour l'ensemble de ces points noirs, l'IBGE a procédé à des mesures de bruit afin d'objectiver la nuisance sonore. En fonction de la configuration des lieux et des résultats de ces mesures, différentes mesures peuvent être proposées et mises en œuvre afin de diminuer le niveau sonore.

- Avenue Charles Quint (entre la chaussée de Gand et la basilique)

Carte 4 du PRD : entre le Zavelberg et la basilique, l'avenue Charles Quint est couverte par un liseré d'intervention acoustique afin de renforcer la fonction de séjour.

Des mesures de bruit ont été réalisées sur une période de 24h à différents endroits de l'avenue. L'indice $L_{Aeq,jour}$ est compris entre 70,6 dB(A) et 73,5 dB(A).

Le seuil d'intervention fixé par le plan bruit (65 dB(A) en journée) est donc largement dépassé sur toute la longueur de l'avenue.

Parmi les solutions à mettre en œuvre se retrouvent le respect des limitations de vitesse (gain de 4 dB(A) pour une vitesse passant de 70 à 50km/h sur un asphalte normal) par une modification du profil de voirie.

Une modification du type de trafic ou la pose de panneaux anti-bruit ne sont par contre pas adaptés à la situation.

Une protection acoustique des bâtiments pourra être envisagée en dernier recours.

- Boulevard de la Woluwe

Une partie de ce boulevard a fait l'objet d'une demande d'étude par les riverains. Elle se situe entre l'avenue Chapelle aux champs et l'avenue E. Vandervelde à Woluwe-Saint-Lambert.

A cet endroit le boulevard est bordé d'une zone non bâtie arborée. Des mesures de bruit ont été effectuées dans les jardins de rue de la Rive (situés entre le boulevard et les habitations).

Pour les points de mesures fixes, l'indice $L_{Aeq,jour}$ est de 56,7dB(A) et de 57,2 dB(A) pour le point 2 ainsi que de 61,6dB(A) pour le point de comptage effectué à 10m de hauteur (balcon 2^{ème} étage).

Le seuil de gêne de 55 dB(A) est donc dépassé mais le seuil d'intervention de 65 dB(A) n'est pas atteint.

Le long du Boulevard, l'indice $L_{Aeq,jour}$ est de 69 dB(A) et est donc sensiblement plus élevé.

Pour cet axe, le même type de solutions pourrait être envisagé que dans le cas de l'avenue Charles Quint

L'installation de murs antibruit pourrait de plus être envisagée. Toutefois, une telle solution ne serait pas optimale : en effet, en ville, les murs antibruit ont souvent l'effet d'augmenter la vitesse de circulation.

- Boulevards Général Wahis, Reyers et Lambermont

3 points de mesures de longue durée (1 semaine) et 7 points de mesures de 24h ont été placés à proximité des habitations sur les boulevards Lambermont, Wahis et Reyers. 80 balayages de courte durée (2 minutes) ont également été réalisés à hauteur du bord du trottoir.

Pour les points de mesures de longue durée, l'indice $L_{Aeq,jour}$ est compris entre 71,1 et 72,7 dB(A) pour un jour de la semaine. Pour les points de mesures de 24h, les valeurs de $L_{Aeq,jour}$ sont comprises entre 68 et 72,7 dB(A). Des niveaux similaires ou plus élevés ont été observés pour les points de balayage.

Le seuil d'intervention est donc largement dépassé.

Il a également été constaté que les niveaux de bruits sont plus importants dans les tronçons où les feux de circulation sont éloignés permettant une prise de vitesse plus importante que dans les tronçons où les feux sont plus rapprochés.

Les niveaux de bruits sont également plus élevés dans la direction du pont Van Praet que dans l'autre direction Ceci est probablement dû à la configuration en trois bandes de circulation qui incitent à vitesse plus élevée.

Parmi les onze parcs régionaux considérés comme points noirs, deux se situent le long d'axes concernés par l'étude :

- le parc du Jardin Botanique qui est le long de la petite ceinture,
- le parc du Cinquantenaire traversé par l'avenue Kennedy entre les tunnels du Cinquantenaire et Loi

Ces parcs sont donc directement affectés par le bruit routier causé par le trafic sur ces axes et donc par la vitesse qui y est pratiquée.

2.4.2. Qualité de l'air et pollution atmosphérique

Les véhicules de transport routier sont responsables d'une part importante des émissions de polluants atmosphériques. En conséquence, dans le cadre d'une gestion durable du transport, il importe de minimiser autant que possible ces émissions.

2.4.2.a. Cadre théorique

Différents facteurs influencent la consommation et les émissions d'une voiture. Les principaux sont

- la vitesse moyenne,
- le contexte urbain ou rural,
- le style de conduite,
- la température du moteur,
- la pression des pneus,
- le chargement,
- la climatisation.

Une étude réalisée par RDC-Stratec [RDC- Stratec, juin 2005] pour le compte de l'IBGE a permis de calculer pour différentes vitesses moyennes les émissions par unité de distance sur un parcours type de la Région de Bruxelles-Capitale

Les résultats obtenus pour des voitures moyennes du parc automobile bruxellois, au diesel et à essence, sont illustrés dans les 2 figures ci-dessous (figures 30 et 31), publiées dans le rapport « Air bruxellois et Transport » de l'IBGE.

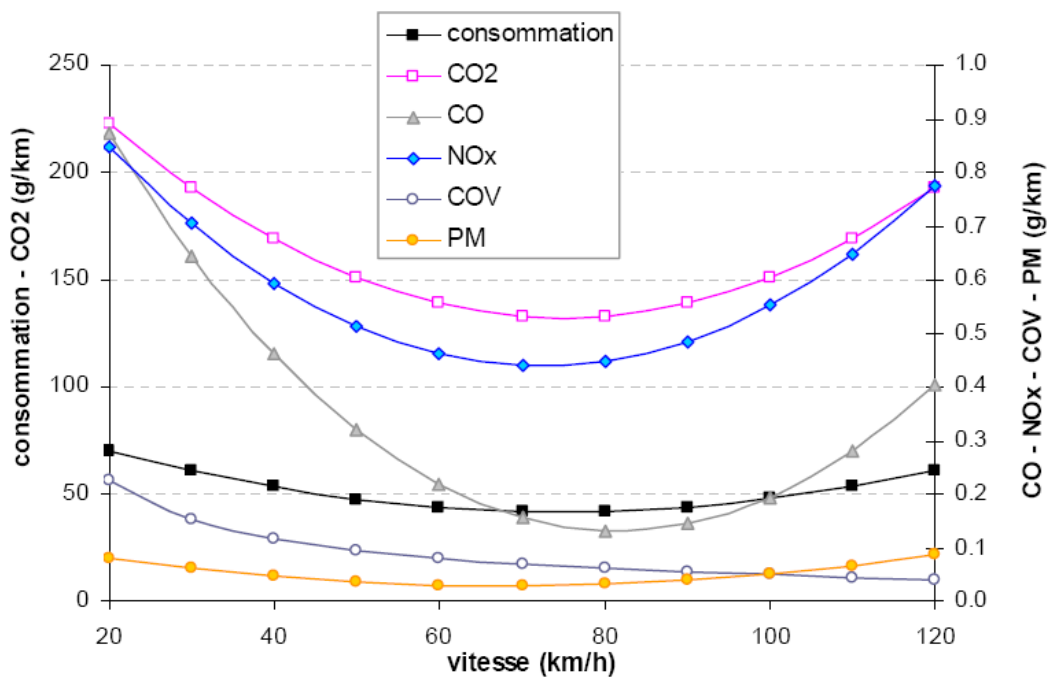


Figure 30 : évolution de la consommation et des émissions à chaud d'une voiture diesel moyenne du parc bruxellois en fonction de la vitesse (extrait de [IBGE, Air bruxellois et Transport, 2006])

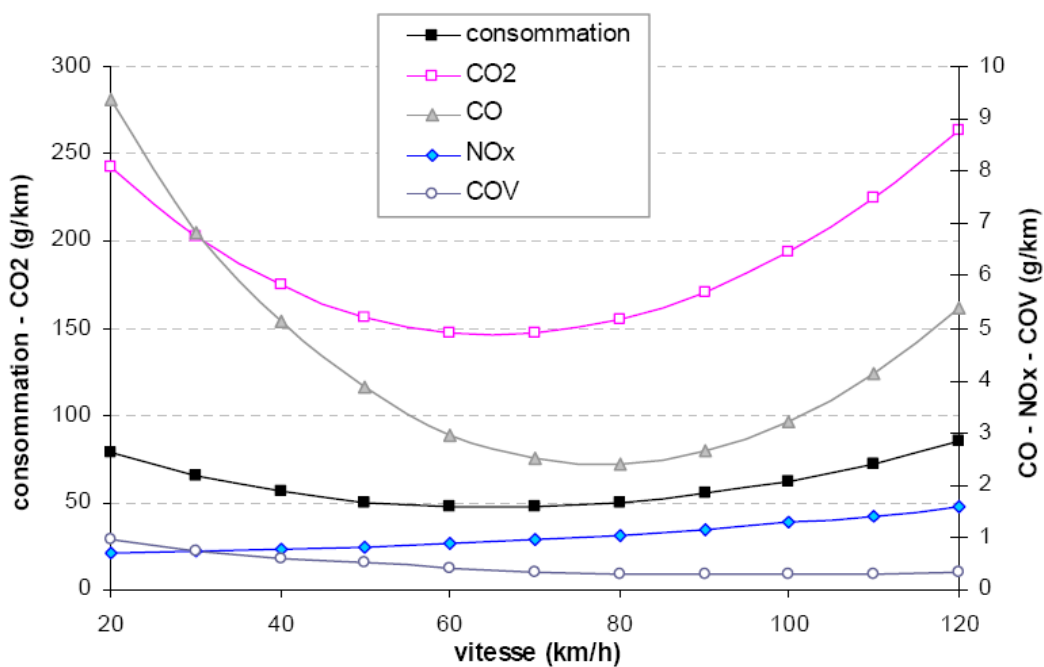


Figure 31 : évolution de la consommation et des émissions à chaud d'une voiture à essence moyenne du parc bruxellois en fonction de la vitesse (extrait de [IBGE, Air bruxellois et Transport, 2006])

Il ressort de l'examen de ces graphiques que les émissions de CO₂ et de CO ainsi que la consommation en carburant sont minimums aux alentours de 60-70 km/h.

Ce n'est pas le cas, par contre, pour les émissions de NO_x et COV. Lorsque la vitesse augmente, les émissions de COV diminuent mais les émissions de NO_x sont plus élevées.

Il faut garder à l'esprit que ces courbes sont représentatives des émissions pour des vitesses continues. Elles sous-estiment les émissions et consommations réelles d'une conduite en ville.

En effet en milieu urbain, la présence de feux de signalisation, les aménagements urbains, les encombrements de circulation contraignent à ralentir et à accélérer fréquemment ce qui implique davantage de consommation de carburant et d'émissions.

La fluidité du trafic ainsi que le type de route influencent davantage la consommation de carburant et les émissions de polluant que la vitesse pratiquée. En d'autres mots, les pertes d'énergie dues aux accélérations et décélérations répétitives sont plus importantes que le gain d'énergie qui résulterait d'une réduction de la vitesse moyenne.

En milieu urbain, la fluidité du trafic a donc une importance prépondérante par rapport à la vitesse pratiquée, en ce qui concerne la qualité de l'air.

On peut toutefois remarquer que, si le trafic est discontinu (avec de nombreux arrêts et redémarrages), la consommation d'énergie et l'émission de polluants atmosphériques seront plus importantes si le véhicule accélère jusqu'à une vitesse de 70 km/h plutôt que de 50 km/h après chaque arrêt.

2.4.2.b. Analyse des tunnels de l'étude

- Tunnel Léopold II

Suite à l'arrêté du gouvernement de la Région Bruxelles-Capitale du 22 décembre 1994 relatif à la qualité de l'air, deux postes de mesures permanents ont été installés dans le tunnel Léopold II (un dans chaque sens). Ces postes ont été placés en sortie de tunnel, où la pollution est vraisemblablement la plus concentrée.

Ces postes sont opérationnels depuis décembre 2002 et permettent d'analyser en continu les émissions de NO, NO₂ et CO. Le NO₂ et le CO sont les seules matières dont les valeurs maximales sont fixées par l'arrêté (cfr table 7).

	CO	NO ₂		
Temps d'exposition	30 min	20 min	30 min	60 min
Concentration maximale autorisée	100 ppm	1000 µg/m ³	850 µg/m ³	400 µg/m ³

Table 7 : concentrations maximales autorisées de CO et de NO₂

Au cours de l'année 2003, les émissions de CO ont toujours été bien inférieures à la valeur limite. Pour le NO₂ par contre, les concentrations maximales autorisées ont été atteintes à plusieurs reprises.

La valeur limite de 400 µg/m³ (seuil maximal pour une durée d'exposition d'une heure) a été dépassée pour plus de 50 % du nombre de valeurs horaire en direction de la

Basilique et pour 10 % environ en direction du centre les jours ouvrables. Il est cependant assez rare qu'un automobiliste soit bloqué pendant une heure dans le tunnel Léopold II, si ce n'est en cas d'un incident.

La valeur limite de $850 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (seuil pour une durée d'exposition de 30 min) a été dépassée presque exclusivement les jours ouvrables.

La valeur limite de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (seuil maximal pour une durée d'exposition de 20 min) a été dépassée à 212 reprises en direction du centre et à 85 reprises en direction de la Basilique et ce principalement pendant l'heure de pointe du matin. Il est assez fréquent qu'un automobiliste reste 20 minutes dans ce tunnel pendant les heures de pointe et qu'il soit donc exposé à une concentration trop élevée de NO_2 .

Les concentrations dans les tunnels sont beaucoup élevées que celles dans l'atmosphère extérieure. En moyenne les concentrations de CO et NO sont 10 fois plus élevées dans le tunnel Léopold II qu'en des points extérieurs situés à proximité du trafic. Les concentrations de NO_2 sont quant à elles 5 fois plus élevées.

Il est donc primordial d'avoir un bon système de ventilation dans les tunnels afin de diminuer les concentrations de polluants.

L'AED prévoit l'installation d'un système permettant de calculer de manière précise le temps de séjour. En attendant sa mise en œuvre, l'AED a augmenté de manière préventive la ventilation dans le tunnel pendant les heures de pointe afin que les automobilistes soient toujours soumis à des concentrations en polluants inférieures aux seuils d'exposition. A partir de 15h30, la ventilation est augmentée automatiquement. Cette ventilation représente un coût énergétique considérable.

2.4.3. Conclusion : une augmentation de vitesse contribue directement à élever le niveau de bruit ambiant et indirectement à réduire la qualité de l'air

Nous avons pu constater que la vitesse pratiquée a un impact direct sur le niveau de bruit. Une augmentation de la vitesse, même faible, entraîne une augmentation du bruit non négligeable.

Au point de vue de la pollution atmosphérique, la vitesse n'a qu'un impact très limité. Sur un parcours fluide, où le véhicule maintient une vitesse constante sans accélération ou décélération, l'optimum de vitesse se trouverait autour de 60 ou 70 km/h. Toutefois, tel n'est pas le cas en ville : un parcours urbain implique nécessairement des arrêts et redémarrages fréquents, aux carrefours ou dans des encombrements. La pollution atmosphérique causée par ces accélérations répétées est plus élevée que celle émise en situation de circulation fluide, quelle que soit la vitesse pratiquée dans ce dernier cas.

En pratique, nous pouvons donc nous apercevoir qu'une vitesse plus faible induira indirectement une amélioration de la qualité de l'air, par une diminution des émissions de polluants. En effet, nous avons vu que le risque d'incidents causant une gêne à la circulation est lié à la vitesse. Or toute gêne à la circulation implique qu'un certain nombre de véhicules sont ralentis, voire arrêtés dans leur parcours et émettent donc plus de polluants.

Il semble donc clair que si la vitesse de circulation pratiquée est diminuée, le nombre d'incidents diminuera également, ce qui devrait permettre, indirectement, de maintenir une plus grande fluidité du trafic et donc de réduire la pollution atmosphérique.

2.5. Effet sur la fonctionnalité de l'espace public

La Région Bruxelles-Capitale a établi plusieurs règlements qui régissent les fonctions attribuées aux espaces publics. Les axes concernés par la présente étude sont concernés par ces règlements, qui définissent leurs usages prioritaires et les caractéristiques d'aménagement du territoire et d'urbanisme auxquelles ils doivent répondre.

La vitesse est un des paramètres principaux qui déterminent la place que prend la circulation automobile dans un espace. Plus cette vitesse est élevée, plus la voirie devient une barrière interrompant les flux et les connections qui la traversent. Cet état de fait va souvent à l'encontre des fonctions que doit remplir l'espace public en milieu urbain. Le partage de la voie entre les différents modes de transport est mis à mal par des vitesses élevées.

Il s'agit donc, dans la plupart des cas, de trouver un compromis entre les différentes fonctions de la voirie, dont certaines justifient une vitesse élevée (fonction de transit) tandis que d'autres s'y opposent (fonction de séjour).

2.5.1. Plans régionaux d'aménagement du territoire

Les plans régionaux à prendre en considération dans notre étude sont les suivants :

- le Plan Régional de Développement (PRD) 2002, mise à jour de la version antérieure datant de 1998 ;
- le Plan Régional de Déplacements (Plan IRIS) approuvé par le gouvernement en 1998 et actuellement en cours d'actualisation, il précise les objectifs du PRD en matière de mobilité ;
- le Plan Régional d'Affectation du sol (PRAS) qui réglemente certaines options en matière de mobilité (juin 1992).

Ces plans définissent l'affectation des sols, et particulièrement des espaces publics, en Région Bruxelles-Capitale.

Ils définissent notamment

- la spécialisation des voiries,
- leurs caractéristiques urbanistiques et d'aménagement,
- les contraintes liées au bruit,
- la structuration des espaces et
- les implications d'intervention en découlant.

2.5.2. Spécialisation des voiries

Un point fondamental du PRD, développé dans le plan IRIS et fixé dans le PRAS est le principe de la spécialisation des voiries. Celle-ci définit le partage de l'espace public entre les différents modes de déplacement.

Réseaux	Réseau primaire – régional		Réseau interquartier	Réseau de quartier
Types de voies	Voies métropolitaines	Voies principales	Voies interquartiers	Rues locales
Principe	Voiries qui assurent les grands flux de déplacements dans la Région, circulation importante à intense		Voiries qui relient des quartiers voisins et qui rabattent la circulation sur les voies du réseau régional	Voiries qui assurent la desserte des riverains
Aménagement type	Minimum 2 bandes par sens ou équipées de tunnels routiers	Maximum 2 bandes	Une seule bande de circulation par sens	Vitesse limitée à 30km/h (voire à 20km/h dans les zones résidentielles)
Equilibre séjour/circulation	La fonction de circulation prime sur la fonction de séjour	La fonction de circulation est aussi importante que la fonction de séjour	La fonction de séjour prime sur la fonction de circulation	La fonction de circulation, réduite à son minimum, est subordonnée à la fonction de séjour

Table 8 : spécialisation des voies en Région Bruxelles-Capitale

• Application aux axes étudiés

Tous les axes étudiés sont des voies métropolitaines. Ce sont donc des voiries où la fonction de circulation prime sur la fonction de séjour.

Cependant, le PRD précise que l'aménagement de la voirie doit assurer le maintien de la fonction de séjour malgré la gêne causée par la fonction de circulation. A défaut, la voirie doit être réhabilitée de manière à concilier circulation, sécurité et vie locale.

Des mesures à l'attention des riverains, telles que des primes à l'isolation acoustique des logements, doivent être envisagées lorsque les nuisances dépassent les seuils

déterminés et qu'elles ne peuvent être réduites par un réaménagement de l'espace public et par la gestion du trafic.

Par ailleurs, lorsqu'une voirie métropolitaine est divisée en plusieurs chaussées ou est équipée d'un tunnel routier, la spécialisation des diverses chaussées est établie suivant le principe suivant :

- voies métropolitaines pour les chaussées centrales d'un tronçon sans tunnel, ou pour les chaussées souterraines ;
- voies principales ou interquartiers pour la chaussée centrale au-dessus d'un tunnel routier ou pour les chaussées d'accès au tunnel
- réseau de quartier pour les chaussées latérales

Ce qui signifie que les allées latérales de la petite ceinture et de la partie de la grande ceinture comportant des tunnels doivent être considérées comme une voie locale et être donc limitées à 30 km/h.

Les voies au-dessus d'un tunnel ou ses accès doivent quant à elles être considérées comme des voiries interquartiers ou principales.

2.5.3. Amélioration du cadre de vie

Par ailleurs la carte 4 du PRD, « amélioration du cadre de vie », prévoit certaines mesures afin d'améliorer la qualité de vie sur les axes importants de la Région.

Sur les voiries du réseau primaire, les niveaux de bruit dépassent souvent la limite acceptable de 70 à 75 dB (cfr 2.4.1 Bruit et pollution sonore).

Une diminution des vitesses pratiquées et un changement de revêtement sont les moyens les plus efficaces pour diminuer le bruit. Ces moyens devront être appliqués prioritairement sur les voies définies comme axe structurant à intégration environnementale renforcée. Ces mesures sont parfois insuffisantes là où le flux de circulation est particulièrement important : des mesures complémentaires telles que l'isolation acoustique des logements devront être alors mises en œuvre.

2.5.4. Espaces structurants à intégration environnementale renforcée

Ces espaces structurants couvrent les grands axes de mobilité reliant différents pôles d'activité et les nœuds de transport en commun.

- Espaces structurants à intégration environnementale renforcée de type 1

Ils visent à modérer le trafic automobile. L'espace gagné sur la voiture sera destiné à des aménagements pour les modes doux et à un verdoisement. Il s'agit surtout des anciennes chaussées.

Aucun axe n'est concerné dans le cadre de l'étude.

- Espace structurant à intégration environnementale renforcée de type 2

Ils visent à renforcer l'espace, le confort et la sécurité attribués à la mobilité douce sans pour autant porter atteinte au trafic automobile. Ce renforcement s'accompagne d'un verdoisement.

Sont concernés dans le cadre de l'étude la petite ceinture ainsi que les boulevards de la grande ceinture.

2.5.5. Renforcement de la fonction de séjour

Différentes mesures doivent être mises en œuvre pour assurer la fonction de séjour sur les axes concernés par l'étude.

- Liseré d'intervention acoustique (arrêté du 02/05/02 relatif à l'octroi des primes à la rénovation de l'habitat) : octroi de primes pour les logements soumis à un niveau d'exposition élevé de bruit afin de garantir un confort acoustique satisfaisant.

Sont concernés dans le cadre de l'étude l'avenue Charles Quint et une partie de la grande ceinture

- Sur le réseau primaire et interquartier : amélioration de la quiétude par des mesures sur la vitesse et le revêtement routier en zone habitée.

Sont concernés dans le cadre de l'étude la petite ceinture (de Midi à la porte de Namur), l'avenue de Tervuren et une partie de la grande ceinture

2.5.6. Conclusion : une augmentation de la vitesse implique indirectement une détérioration de la fonction de transit et complique le maintien de la fonction de séjour

Comme étudié dans le point 2.3, une augmentation de la vitesse induit une réduction de la fluidité du trafic. En effet, une telle hausse implique un accroissement du risque d'incidents gênant la circulation. Cela va à l'encontre des différents plans régionaux qui visent à améliorer la fonction de transit sur les axes métropolitains.

De plus, on constate également que les vitesses pratiquées élevées impliquent des nuisances incompatibles avec la qualité de l'environnement urbain qu'il faudrait assurer pour maintenir les fonctions de séjour autour des axes étudiés.

A défaut de réduire la vitesse, il serait nécessaire d'investir massivement dans des aménagements qui permettent de réduire les nuisances, notamment sonores, à un niveau acceptable.

3. Facteurs déterminant la vitesse pratiquée

Les limitations de vitesse ne sont pas les seuls éléments qui entrent en considération quand un conducteur choisit la vitesse à laquelle il roule. Une série d'aspects, souvent antagonistes, interviennent.

Le premier d'entre eux est la lisibilité de la voirie. Celle-ci comprend l'ensemble des signaux émis par la voirie en direction de l'utilisateur : signalisation, organisation de l'espace, configuration des voies, aménagements et infrastructures,...

Pour bien comprendre les informations qui lui parviennent, le conducteur doit savoir comment les interpréter, il importe donc qu'il soit formé à analyser et interpréter les différentes situations auxquelles il peut se trouver confronté.

Un autre aspect important concerne les attitudes des conducteurs, c'est-à-dire leurs façons de se positionner et de réagir face aux informations qu'ils reçoivent.

Enfin, la façon dont la réglementation est appliquée et dont les comportements déviants sont réprimés a un grand impact sur le respect que les utilisateurs de l'espace public ont pour les règles en vigueur. La politique de contrôle-répression est donc très importante.

L'étude de ces aspects est indispensable lors de la mise en place d'une politique de régulation des vitesses.

3.1. Image de la voirie

Indépendamment de la limitation de vitesse, l'automobiliste adapte sa vitesse en fonction des informations qu'il reçoit et de la compréhension qu'il en a. L'ensemble des éléments utiles au conducteur peut être repris sous le nom de lisibilité de la voirie.

« La lisibilité est la propriété d'une voie et de son environnement de donner à tout usager, par l'ensemble de leurs éléments constitutifs (géométrie de la voie et de ses abords, équipement et habillage de la voie, configuration et aspect du bâti environnant, mobilier urbain, etc.), une image juste, facilement et rapidement compréhensible, de la nature de la voie et de son environnement, de ses utilisations, des mouvements probables ou possibles des autres usagers et des comportements qu'on attend de lui, vitesse, trajectoire et perte de priorité... » [SETRA–CETUR, 1992]

Lorsque la configuration réelle de la route est conforme à son image et permet à l'usager de recevoir les informations nécessaires à l'adaptation de son comportement, on dit que la route est lisible.

Différents éléments interviennent dans l'image que donne une voirie à ses usagers. Les plus importants sont la configuration et la géométrie de la voie, associées à la signalisation.

Ces éléments, s'ils sont utilisés de manière cohérente permettent de définir une image claire, qui indique immédiatement aux différents usagers de la voie le comportement qui est attendu de leur part à l'endroit où ils se trouvent.

3.1.1. Géométrie

Les dimensions géométriques et l'aménagement d'une voirie influencent la perception qu'en ont les conducteurs et par conséquent leur vitesse pratiquée. Toute différence entre les vitesses pratiquées et la vitesse optimale du point de vue de la sécurité peut être considérée comme un facteur d'accident.

Les paramètres de la géométrie sont, principalement :

- le tracé en plan,
- le profil en travers,
- le profil en long.

Ces paramètres ont chacun une influence sur la visibilité et le sentiment de confort et/ou de sécurité pour les conducteurs et le comportement dynamique des véhicules.

Selon les pays, différentes recommandations existent pour le tracé des routes. La méthode usuelle pour le dimensionnement de nouvelles routes consiste à tracer celles-ci selon des critères qui dépendent du débit et de la vitesse définis a priori.

Pour différentes vitesses de référence, les normes reprennent des caractéristiques minimales. Les tracés doivent répondre à ces critères pour assurer d'une part la sécurité et d'autre part le confort des usagers circulant sur la route.

Nous reprendrons, dans ce chapitre, les recommandations techniques du CROW (Pays-Bas, [CROW 2002]), du CETUR (actuellement CERTU, France, [CETUR 1990]) et de l'IBSR (Belgique, [IBSR 2005]).

3.1.1.a. Tracé en plan

Le tracé en plan reprend la définition géométrique de la route dans le sens longitudinal, selon l'axe horizontal. On l'observe en vue du dessus.

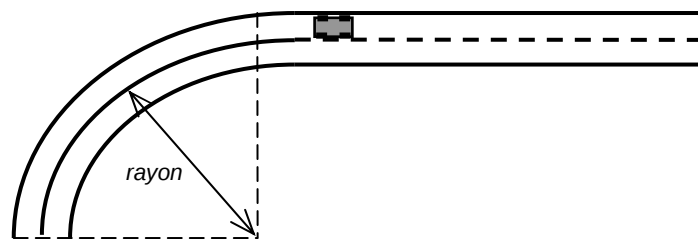


Figure 32 : tracé en plan – rayon de giration

Les deux paramètres importants qui définissent le tracé en plan sont le rayon de giration et le dévers dans les courbes. Le rayon de giration (ou rayon de courbure) en plan impose l'étendue des virages : plus le rayon est petit, plus le virage est serré. Le dévers n'est pas à proprement parler un paramètre du tracé en plan, mais il est directement lié aux rayons de giration : c'est l'angle d'inclinaison de la pente de la voirie dans le sens transversal. Pour des raisons de sécurité, il faut théoriquement incliner légèrement la voirie vers l'intérieur des courbes.

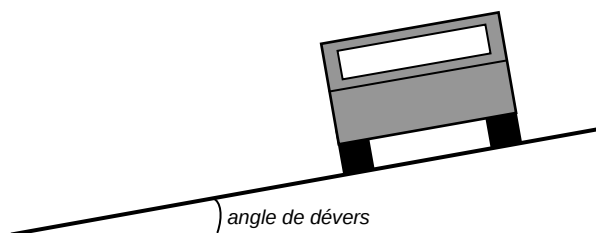


Figure 33 : profil en travers – dévers

Les normes qui définissent les valeurs limites pour ces deux paramètres sont basées sur des critères de visibilité et de tenue de route.

Dans le cadre de cette étude, nous avons décidé de comparer les valeurs de rayons de courbure avec celles de la littérature, pour des vitesses correspondant à celles qui sont régulièrement pratiquées.

Ne connaissant pas les valeurs réelles de dévers dans les virages envisagés, nous avons préféré supposer que le dévers était inexistant, en nous plaçant donc du côté de la sécurité dans notre vérification. En effet, à rayon de courbure égal, un virage avec un dévers assure une meilleure tenue de route qu'un virage sans dévers.

Les valeurs minimales de rayons de courbure ($R_{h,min}$) sont reprises au tableau 9.

$R_{h,min}$	CROW sans dévers (<i>interpolation</i>)	CETUR sans dévers
50 km/h	199 m	200 m
V = 70 km/h	507 m	400 m
90 km/h	1206 m	-

Table 9 : rayon de courbure minimal en virage

3.1.1.b. Profil en travers

Le profil en travers décrit la configuration de la voie dans le plan transversal. On le représente donc en considérant la voie comme si elle était coupée transversalement en un point de son parcours. Les paramètres à prendre en compte pour la détermination du profil en travers sont les largeurs des différentes parties de la chaussée (accotements, trottoirs, bandes d'arrêt d'urgence, bandes de circulation, berme centrale,...) et le dévers (dont nous avons déjà parlé ci-dessus).

Le paramètre que nous étudierons particulièrement dans le cadre de l'étude est la largeur des bandes de circulation. La configuration la plus fréquente pour les axes étudiés est de 2 x 2 bandes de circulation, séparées par une berme centrale.

En effet, la largeur de la bande de circulation, associée aux distances latérales libres sur les côtés, détermine largement la vitesse pratiquée. Lorsque cette largeur augmente, il devient plus confortable de rouler plus vite.

Les normes recommandent donc des valeurs pour la largeur de bande de circulation (l_b). En-dessous de ces valeurs, le confort diminue. Au-dessus, la vitesse pratiquée augmente.

l_b	CROW		IBSR
	1 bande	2 bandes ou +	
50 km/h	3,00 m	3,10 m	2,75 m
V = 70 km/h	3,00 m	3,10 m	3,15 m
90 km/h	3,00 m	3,25 m	3,50 m

Table 10 : largeurs optimales de bande de circulation

Une incertitude existe parfois sur la définition de la largeur de bande de circulation : pour certaines sources, cette largeur se calcule en incluant la moitié des lignes de délimitation, tandis que dans d'autres cas, la largeur s'entend bandes non comprises.

3.1.1.c. Profil en long

Le profil en long décrit l'évolution de la chaussée dans le sens longitudinal, selon l'axe vertical. On l'observe donc en regardant la voie depuis le côté.

Les pentes, les creux et les bosses sont donc des caractéristiques qui définissent le profil en long. Dans le cadre de l'étude, nous avons analysé les rayons de courbure verticaux de la voirie, en creux (courbe concave) et en sommet de dénivellation (courbe convexe).

Pour les courbes convexes, le critère prédominant est la visibilité tandis que pour les courbes concaves, le critère dominant est le confort. Dans le cas des tunnels, il est crucial que l'automobiliste ait une bonne visibilité au sommet des pentes car celles-ci sont généralement situées justes avant les zones d'échanges. Ces zones sont le lieu de nombreuses entrées et sorties de véhicules, engendrant des ralentissements et des manœuvres que l'automobiliste doit pouvoir anticiper.

Les rayons de courbures minimaux sont renseignés dans les tables 11 et 12.

$R_{v,min, convexe}$	CROW	CETUR
50 km/h	2200 m	2500 m
$V = 70$ km/h	5800 m	6000 m
90 km/h	11000 m	10000 m

Table 11 : rayons de courbure minimaux pour les arcs convexes (bosses)

$R_{v,min, concave}$	CROW	CETUR
50 km/h	1100 m	1500 m
$V = 70$ km/h	2900 m	2000 m
90 km/h	6500 m	3000 m

Table 12 : rayons de courbure minimaux pour les arcs concaves (fosses)

3.1.2. Signalisation

En cas de réduction de la limitation de vitesse, une modification de la signalisation fixe de vitesse (signal C 43) n'est pas suffisante pour faire respecter les nouvelles limitations. D'après les études, une réduction de la limitation fixe de 20km/h réduit la vitesse moyenne de 3 à 8 km/h. Une réduction de la limitation de vitesse doit être accompagnée d'aménagements de l'infrastructure et d'une communication claire.

Par ailleurs, il semblerait qu'une limitation de vitesse variable soit davantage respectée.

- *Limitations de vitesse variables*

Dans le cas des limitations de vitesse variables, celles-ci sont indiquées par des panneaux à message variable (PMV) et sont modifiées en fonction de l'état du trafic, de la météo, des conditions de circulation et de voirie ou d'un incident éventuel.

Certaines limitations variables peuvent être complétées par des PMV à messages textuels expliquant les raisons de la diminution de vitesse. En cas d'incident, un système d'affectation de voie ainsi que des itinéraires de déviation peuvent être également actionnés.

Les limitations de vitesse variables améliorent la crédibilité des limitations de vitesse et sont généralement appréciées par les usagers qui sont donc plus enclins à les respecter.

Le CERTU [CERTU 1999] a étudié les effets d'une limitation de vitesse variable sur base d'une vingtaine d'expériences en Europe, aux Etats-Unis et au Japon sur des autoroutes urbaines et inter-urbaines.

D'une manière générale, les PMV ont contribué à une circulation « apaisée » c'est-à-dire, plus calme, moins pulsée et saccadée. Sur base de ces différentes expériences, il a été constaté que les PMV permettent d'avoir globalement les avantages ci-dessous qui se retrouvent de manière plus ou moins prononcée suivant les expériences :

- Vitesses moins élevées ;
- Homogénéisation des vitesses (entre les différentes voies et sur une même voie) ;
- Diminution du nombre de manœuvres de dépassement ;
- Meilleure utilisation de la voie de droite ;
- Diminution des temps inter-véhiculaires courts ;
- Diminution de « l'effet accordéon » ;
- Diminution des accidents (surtout les suraccidents).

Toutes les expériences concluent à une baisse des vitesses moyennes ainsi qu'à l'homogénéisation des vitesses. L'homogénéisation est due au ralentissement des véhicules les plus rapides ainsi qu'à l'accélération des véhicules les plus lents ;

Les vitesses pratiquées sont de l'ordre de 10% au-dessus des vitesses affichées.

L'augmentation de la capacité n'a pas été prouvée en tant que telle, mais les PMV permettant une meilleure utilisation de la voie de droite et un retardement de l'apparition des bouchons, cela augmente de facto la capacité de la voirie.

Les expériences concluent également de manière unanime à une diminution du nombre d'accidents souvent de l'ordre de 20 %. Ce pourcentage tient uniquement compte, dans la plupart des cas, des accidents corporels et doit être relativisé en raison de 2 facteurs : les accidents ont parfois diminué sur l'ensemble du réseau dans le temps de l'étude et une limitation de vitesse fixe entraînerait, elle aussi, une diminution du nombre d'accidents.

- *Application aux axes étudiés*

Bien que ces différentes expériences aient eu lieu sur autoroute, nous pouvons supposer que les principaux avantages observés des PMV (homogénéisation des vitesses, diminution des manœuvres de dépassement) pourraient se produire dans le cas des tunnels bruxellois.

Le plus gros bénéfice serait sans conteste la diminution du risque d'accident et surtout du risque de suraccident dû à un véhicule en panne ou accidenté. Le retardement de l'apparition des bouchons est quant à lui moins certain, car ceux-ci sont davantage liés à des éléments extérieurs non présents sur autoroute (feux de sorties de tunnel,...).

3.2. Comportement des usagers

Le comportement des conducteurs en matière de vitesse dépend largement de leurs attitudes vis-à-vis de la vitesse, de la limitation de vitesse et des vitesses pratiquées. La perception du danger et le risque subjectif d'être contrôlé sont des facteurs prépondérants qui déterminent les vitesses pratiquées.

3.2.1. Attitudes et comportement

Une enquête de l'IBSR, réalisée en 2004 auprès de 1063 automobilistes belges a révélé que 83,3 % de l'échantillon estiment que conduire vite, c'est risquer sa vie et celle des autres. Cela représente une augmentation de plus de 20 % par rapport aux réponses de 2003.

De même, 70 % des conducteurs considèrent que les excès de vitesse sont socialement inacceptables.

Pourtant, les comportements observés ne répondent pas à cette apparente conscientisation des conducteurs.

D'après un rapport de l'OCDE [OCDE 2007] dans les états membres, une proportion significative des conducteurs dépasse régulièrement les limitations de vitesse : de 40 à 80 % des conducteurs selon le pays et le type de routes.

Deux justifications souvent émises par les automobilistes en excès de vitesse sont :

- l'adaptation à la vitesse pratiquée par les autres véhicules et
- l'empressement.

Une distinction doit toutefois être faite entre les conducteurs qui dépassent la limitation de quelques kilomètres/heure, qui constituent la majeure partie des contrevenants, et ceux qui dépassent largement la limitation, en roulant excessivement vite : ceux-ci ne constituent qu'une faible proportion de l'ensemble des usagers.

La majorité des conducteurs considère comme acceptable un dépassement de 10 à 20 km/h de la vitesse autorisée.

- *Cohérence*

Le respect de la limite dépend largement de la perception que les conducteurs en ont. Une limite perçue comme raisonnable et cohérente avec le milieu routier est en général largement plus respectée.

Souvent, un non-respect généralisé peut être associé à une incohérence entre la limitation de vitesse imposée et la lisibilité de la voirie. Si la limitation est justifiée par des raisons de sécurité (par exemple, la présence fréquente d'usagers faibles), il est important d'associer à cette limitation des aménagements physiques de la voirie qui permettent au conducteur de prendre conscience du risque et de la justification de la vitesse imposée.

De ce fait, la signalisation variable est souvent mieux respectée car elle permet d'adapter de manière dynamique la vitesse imposée, selon les circonstances de trafic qui la justifient.

- *Probabilité de contrôle*

Le risque subjectif d'être contrôlé est un autre facteur influençant le respect des limitations. Si un conducteur a le sentiment qu'il risque d'être contrôlé et pénalisé en cas d'infraction, il aura davantage tendance à respecter la règle.

Il est donc particulièrement important de mettre en œuvre une politique stricte de contrôle et de répression des excès de vitesse.

3.2.2. Contrôle et répression

3.2.2.a. Contrôle-répression

La politique de répression est menée par les zones de police sur base de contrôles radars fixes ou mobiles. Les radars sont équipés de caméra argentique.

Pendant longtemps la politique de répression dans les tunnels et sur les grands axes était centrée sur les super-infractions. Un seuil tolérance par rapport à la limitation de vitesse était implicitement accepté. Concrètement, certaines zones de police verbalisaient uniquement les automobilistes dépassant le V80 (vitesse en-dessous de laquelle roulent 80% des automobilistes).

La politique actuelle du parquet est demander aux zones de police de mener une politique de tolérance zéro en matière de contrôle-répression. Le seuil de verbalisation doit être fixé à la limitation de vitesse en vigueur auquel s'ajoute la marge technique de 6%. Les automobilistes doivent donc être verbalisés à partir de 57 km/h sur un axe limité à 50 km/h.

Cependant dans la pratique, cette demande n'est pas toujours appliquée par les zones autant dans les contrôles fixes que mobiles. Les zones de police argumentent qu'elles ne sont pas en mesure de mener une politique de tolérance zéro. Le nombre de procès verbaux (PV) et de perceptions immédiates (PI) qu'elles peuvent traiter est limité. Si elles verbalisaient l'ensemble des infractions, le nombre d'heures de contrôle serait fortement diminué et les fous du volant seraient en définitive moins bien contrôlés.

Il y a en moyenne 4 à 5 contrôles par an par tunnel et par sens de circulation. Les contrôles sur les boulevards sont généralement un peu plus nombreux. Le montant des amendes pour une limitation de 50 km/h s'élève à 100 € pour une vitesse

pratiquée de 70 km/h et à 150 € pour une vitesse pratiquée de 80 km/h. Le risque d'être contrôlé n'est donc pas très élevé mais par contre le montant de l'infraction est relativement dissuasif. Si la limitation passait à 70 km/h, les mêmes vitesses pratiquées donneraient respectivement des amendes de 65 € et 115 €.

D'après les études c'est le risque subjectif d'être pris plutôt que le montant de l'amende qui influence la vitesse pratiquée.

3.2.2.b. Actions de prévention :

Différentes zones de police ont mené des actions de sensibilisation sur la vitesse.

La zone de police Nord a placé un panneau avec le nombre total de PV et des panneaux de rappel « 50km/h » sur le boulevard Lambermont. Un panneau expliquant le principe de l'onde verte, incitant les automobilistes à rouler à 50km/h, ainsi qu'un panneau sur le bruit routier ont également été placés. Une campagne de sensibilisation a été menée dans le cadre de la semaine de mobilité. Ces différentes mesures semblent avoir contribué à diminuer la vitesse sur le boulevard.

La zone de police Ouest a également mené des campagnes de sensibilisation conjointement à des campagnes de répression sur le Boulevard Charles Quint et dans le tunnel Léopold II, qui auraient fait chuter la vitesse moyenne de plus de 10 km/h selon les comptages de vitesse.

Enfin, la zone Ouest a le projet d'annoncer ses contrôles et de rappeler les limitations de vitesse sur les panneaux à message variable des tunnels.

3.2.2.c. Caméras automatiques :

En 2005, 31 boîtiers de caméras automatiques ont été implantés en Région Bruxelles-Capitale. 12 caméras sont placées en rotation dans ceux-ci. Pour mars 2007, il est prévu de placer 27 boîtiers et 6 caméras supplémentaires. Afin d'augmenter le risque subjectif d'être pris, des panneaux contrôles radars sont également placés en amont des boîtiers. Le coût d'une installation (boîtier + boucle de détection + caméra) est d'environ 100 000 €.

Les caméras ont été mises en fonction au printemps 2006. Entre le 1er avril et le 31 octobre 2006, près de 15 millions de véhicules ont été contrôlés avec un total de 10565 infractions, qu'il s'agisse d'excès de vitesse et/ou de franchissement de feux rouge.

60% des infractions ont été payées par la procédure de la perception immédiate, le restant ayant été envoyé au Parquet. Au total, seul 2% des dossiers ont été classés sans suite pour différents motifs (plaques CD, conducteurs étrangers, PV mal rédigé).

Concernant les infractions de vitesse, il importe de préciser qu'il avait été décidé de sanctionner dans un premier temps uniquement les infractions du 3^{ème} degré (excès de vitesse supérieur à 30 km/h). Les infractions du 2^{ème} degré (excès supérieur à 20 km/h) sont actuellement également poursuivies.

Une évaluation de l'évolution des vitesses pratiquées et du nombre d'accidents suite à la mise en place de ces caméras automatiques n'a pas encore été réalisée. On peut déjà cependant constater que le nombre d'infractions du 3^{ème} degré est en baisse.

- *Application aux axes étudiés*

Les caméras sont placées sur les grands axes de la Région et sont réparties de manière équilibrée entre les six zones de police. Aucune caméra n'est placée dans les tunnels.

Des boîtiers ont été placés dans les axes étudiés suivants :

- Bvd Général Jacques - Av. de la Couronne
- Bvd Louis Schmidt – Av. Hansen Soulie
- Av. Charles Quint - Chée de Gand

Pour mars 2007 des boîtiers auront été placés dans les axes suivants :

- Bvd Lambermont – Av. E. Demolder
- Bvd Lambermont – Av. Princesse Elisabeth
- Bvd Louis Schmidt – Rue Baron de Castro
- Bvd de la Woluwe – Rue Voot
- Bvd de la Woluwe – Av. Hippocrate

		<i>Nombre moyen d'infraction pour 10 heures de contrôle</i>		
	<i>Nombre d'heures de contrôle</i>	<i>Feu rouge</i>	<i>Vitesse 2^{ème} degré</i>	<i>Vitesse 3^{ème} degré</i>
<i>Bvd G. Jacques</i>	124h	2,42	1,05	0,48
<i>Av. Ch. Quint</i>	306h	4,64	5,16	1,08

Table 13 : nombre moyen d'infractions pour 10 heures de contrôle - octobre 2006

Le nombre d'infractions est beaucoup plus élevé pour l'avenue Charles Quint que pour le Boulevard Général Jacques. Il faut considérer que la caméra de l'avenue Charles Quint se trouve en fin d'avenue, où le profil est déjà suburbain incitant à une prise de vitesse plus élevée.

3.2.2.d. Etudes de cas de contrôle-répression

- *France*

En 2003, un plan d'action sécurité routière a été mis en œuvre en France avec volet important consacré au contrôle-sanction, par la mise en place d'un système de contrôle automatisé par caméras digitales.

Les données des caméras sont cryptées et envoyées au centre national de Rennes où les PV ou transactions sont imprimés et envoyés automatiquement. Ce système permet de gérer un nombre considérable de PV car il n'y a plus d'intervention humaine. Tous les PV ont été poursuivis par le parquet qui en avait reçu les moyens.

Trois ans plus tard, la vitesse moyenne en France avait diminué de 5 km/h et le nombre de tués avait baissé de plus de 30 % : un résultat jamais atteint jusque-là.

Un autre exemple d'application des radars automatiques en France : des mesures de vitesses ont été effectuées avant et après la mise place de radars automatiques sur le périphérique de Paris. La vitesse est limitée à 80 km/h.

Il a été constaté une diminution très nette des vitesses à hauteur des radars. En période nocturne, la vitesse moyenne anciennement comprise entre 90 et 110 km/h en fonction des voies est passée à 80km/h pour 3 des 4 voies et reste proche de 90 km/h pour la voie de gauche.

Un bémol à ces bons résultats est que l'emplacement de ces radars a été très vite connu des automobilistes qui ont ensuite pris l'habitude de diminuer leur vitesse à l'approche de ces radars pour réaccélérer ensuite.

En France, contrairement à la situation belge, chaque boîtier doit contenir un radar, ce qui limite les emplacements possibles de contrôle.

- *Leuven*

En juin 2002, la ville a décidé de diminuer la limitation de vitesse de 70 à 50 km/h sur le ring de Leuven.

Les raisons invoquées pour cette diminution étaient la présence d'habitations le long du ring, l'importance de la circulation locale et les nombreux mouvements de piétons et de cyclistes (sur piste cyclable). Le ring a par ailleurs une configuration de 2 x 2 bandes séparées par une berme centrale et comprend un petit tunnel.

La partie nord du ring est restée limitée à 70 km/h et 90 km/h pour la partie hors agglomération. Cette partie présente une configuration totalement différente : il s'agit d'une véritable voie rapide urbaine, sans feux de signalisation, ni croisement.

Conjointement à cette nouvelle limitation, des caméras automatiques ainsi que des panneaux de rappel « 50 km/h » ont été placés tout le long du ring. La ville n'a par ailleurs pas jugé utile d'annoncer les contrôles par des panneaux sur la voirie, mais l'action a eu un grand retentissement médiatique.

Au cours des sept premiers mois, 4,75 millions de véhicules ont été contrôlés avec seulement 10 560 PV (soit 0,22%).

Les caméras automatiques ont permis de diminuer drastiquement le nombre d'infraction (excès de vitesse et irrespect des feux rouges). Alors que 5 à 6 % des automobilistes étaient en infraction lorsque la vitesse était limitée à 70 km/h seuls 0.22 % sont encore en infraction avec la limitation de 50km/h.

D'après le commissaire Vanmeerbeek, de la zone de police de Leuven, les caméras ont davantage un effet dissuasif que les contrôles radars de la police. Par leur simple présence, tous les automobilistes savent qu'ils sont contrôlés. Il importe de bien communiquer les résultats des contrôles.

La limitation du 50km/h est très bien acceptée par les habitants, dont la qualité de vie s'est améliorée. Elle est par contre moins bien vue par les navetteurs.

3.2.2.e. Conclusion

Les contrôles radars mobiles et fixes ainsi que les campagnes de prévention permettent sans conteste de diminuer les vitesses pratiquées. Cependant, les moyens alloués au contrôle et à la répression actuellement ne sont pas suffisants pour observer un effet significatif sur l'ensemble des axes et tunnels étudiés.

Une solution efficace pour faire respecter les limitations de vitesse ainsi que l'interdiction au plus de 3.5 t dans les tunnels serait d'installer un système de contrôle-sanction automatisé par caméra digitale, similaire à celui existant en France.

Les données seraient alors traitées automatiquement et les films argentiques ne devraient plus être développés. Malheureusement, il est actuellement impossible de mettre en œuvre un tel système en Belgique, car l'homologation du système de contrôle-sanction par caméras digitales est toujours en cours au niveau fédéral. La loi et les arrêtés d'exécution sont prévus très prochainement mais une fois ceux-ci pris, il faudra encore compter 2 ans pour le début de la mise en œuvre dans les tunnels.

Une fois les caméras digitales opérationnelles, le moyen idéal pour contrôler la vitesse dans les tunnels, serait de calculer le temps de parcours et donc la vitesse moyenne sur une section de tunnel. Ce système permettrait d'éviter un freinage brusque à hauteur des caméras. Il faudrait dans ce cas installer des caméras de reconnaissance de plaques à chaque entrée et sortie des grands tunnels. Ce système est déjà utilisé à titre préventif dans le tunnel de Cointe par un affichage des plaques en infraction. Ce système est utilisé de manière répressive dans le Kaisermühlen tunnel à Vienne et semble avoir largement contribué au respect des limitations de vitesse.

L'AED prévoit d'acquérir à court terme un système (non homologué) permettant de calculer le temps de parcours et la vitesse moyenne des véhicules dans tous les tunnels et de photographier les poids lourds empruntant les tunnels.

Enfin, il est très important de mener systématiquement une campagne de communication pour informer les automobilistes, en parallèle à toute action de répression, afin qu'une partie d'entre eux diminuent leur vitesse préventivement, diminuant ainsi le nombre total de PV à traiter.

4. Sécurité dans les tunnels bruxellois

Les tunnels sont un type particulier de voirie, qui nécessite en conséquence une attention particulière en matière de sécurité.

Sur base d'une directive européenne concernant les tunnels autoroutiers, la région bruxelloise s'est fixée des conditions de sécurité très strictes pour ses tunnels, à atteindre par un plan d'aménagements et d'équipement. Nous développerons le contenu de la directive et les conditions que s'est imposées la Région Bruxelles-Capitale.

4.1. La situation réglementaire

Suite aux grandes catastrophes dans les tunnels (Mont Blanc 1999, Gotard,...), la sécurité dans les tunnels est revenue à l'avant plan de la scène politique, des recommandations et une directive concernant la sécurité dans les tunnels ont donc été établies par l'Union Européenne. Malgré l'importance donnée à la sécurité dans les tunnels au niveau européen, il n'existe aucune réglementation spécifique aux tunnels en Région Bruxelles-Capitale (RBC).

L'arrêté du 22 décembre 1994 relatif à la qualité de l'air et sa circulaire d'application imposent cependant des valeurs limites pour les concentrations de monoxyde de carbone (CO) et de dioxyde d'azote (NO₂) dans les tunnels variant en fonction de la durée de séjour des automobilistes.

4.1.1. Les recommandations de la Commission Européenne

Ces recommandations sont contenues dans le rapport « Recommandations du groupe d'experts sur la sécurité dans les tunnels routiers » du 10 décembre 2001.

La plupart des mesures proposées sont en cours de transposition dans les amendements de la convention de Vienne et pourraient donc devenir obligatoires à court ou à moyen terme en Belgique, mais cela uniquement pour les tunnels de plus de 1000m de long en l'occurrence les tunnels Léopold II et Belliard.

Une grande partie de ces recommandations sont regroupées dans la directive européenne concernant les exigences de sécurité applicables aux tunnels.

4.1.2. La directive européenne

La « directive 2004/54/CE concernant les exigences de sécurité minimale applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen » du 29 avril 2004 ne concerne formellement que les tunnels de plus de 500 m de long situés sur le réseau routier TERN (TransEuropean Road Network) et n'est donc pas d'application obligatoire pour les tunnels bruxellois.

Cependant, la directive stipule que

« Les états membres devraient être encouragés à mettre en œuvre des normes de sécurité comparables pour les tunnels routiers situés sur leur territoire qui ne font pas partie du réseau TERN »

La directive peut donc servir de référence pour nos tunnels bruxellois. Ceux-ci n'étant pas des tunnels autoroutiers, les prescriptions de la directive devront être adaptées pour tenir compte du caractère urbain particulier des tunnels bruxellois.

4.2. Constats généraux

Des poids lourds empruntent régulièrement les tunnels malgré les panneaux d'interdiction aux plus de 3.5 t placés à chaque entrée de tunnel. Cette infraction représente un danger considérable car le système de ventilation des tunnels n'est pas dimensionné pour faire face à un incendie impliquant un poids lourd. De plus, il a été prouvé que les poids lourds sont généralement impliqués dans des accidents graves dans les tunnels et augmentent le risque de catastrophe.

Il est donc primordial de faire respecter l'interdiction aux plus de 3.5 t. Les policiers de la zone ouest ont été formés à faire face à cette problématique. Un courrier suivi d'un rappel a également été envoyé aux sociétés d'autocars ainsi qu'à l'agence Bruxelles Propreté afin de leur rappeler cette interdiction, après que l'AED eut constaté le non-respect de la réglementation par les véhicules de ces organismes. Ces courriers sont malheureusement restés sans effet.

Par ailleurs, comme nous avons pu le constater dans les mesures de vitesses réalisées, les limitations de vitesse ne sont pas du tout respectées (taux d'infraction de minimum 90%). Seule la police est compétente pour faire respecter ces limitations de vitesse mais comme nous l'avons expliqué au point 3.3.2, elle ne dispose pas des moyens humains suffisants pour faire respecter cette interdiction en utilisant le système actuel de contrôles radar et de rédaction de procès-verbaux.

Enfin, les distances suffisantes de sécurité ne sont pas non plus respectées. Or, leur respect permettrait de diminuer le risque d'accident, le nombre de véhicules impliqués ainsi que le risque de propagation d'un incendie entre les véhicules. Aucune distance de sécurité n'est prescrite dans notre code de la route : il stipule simplement à son article 10, paragraphe 2 que « le conducteur doit compte tenu de sa vitesse, maintenir entre son véhicule et celui qui le précède une distance de sécurité suffisante ». Selon la directive européenne ainsi que les normes françaises, il faut respecter une distance minimale de 28 m entre les véhicules à une vitesse de 50 km/h, ce qui est loin d'être le cas dans les tunnels bruxellois.

Les plans de catastrophe sont peu développés et il n'y a pas de détection automatique des incidents. L'ensemble des sorties du tunnel Léopold II étant géré par des feux, une onde verte de 140 secondes a été programmée sur les grilles de ces feux afin de pouvoir dégager le tunnel en cas de catastrophe mais celle-ci ne peut actuellement pas être enclenchée par les opérateurs du centre Mobiris.

De plus, par des observations sur le terrain, nous avons constaté que les trottoirs des tunnels bruxellois sont très étroits et souvent dans un état déplorable, ce qui les rend pour la plupart totalement impraticables.

Enfin, plusieurs équipements de sécurité tels que le système de ventilation et les centrales téléphoniques sont vétustes. Les extincteurs viennent quant à eux d'être remplacés.

- *Etude Euro tap*

Par ailleurs dans le cadre du programme EuroTap soutenu par la commission européenne, les grands clubs automobiles européens dont fait partie Touring ont testé la sécurité dans différents tunnels européens. Le tunnel Léopold II a été testé en 2000 et 2002 et a reçu la mention « moyen ». Le tunnel Belliard a quant à lui été testé en 2005 et a reçu la mention « très bien ». Il est utile de préciser que le Belliard, datant de 1994, est le tunnel le plus récent en Région Bruxelles-Capitale. Le premier tronçon du tunnel Léopold II date de 1977 et le deuxième tronçon de 1984. La petite ceinture, datant de 1958, comprend les tunnels les plus anciens de la Région. On constate en général que plus un tunnel est ancien, moins les normes de sécurité étaient contraignantes lors de la mise en œuvre. Selon cette étude, les principales lacunes pour ces tunnels sont :

- l'absence d'éclairage d'urgence et de haut-parleur,
- des téléphones non insonorisés,
- l'absence de bande d'arrêt d'urgence et de garage (tunnel Belliard),
- des sorties de secours trop hautes, difficilement accessibles et mal indiquées (tunnel Léopold II).

Les points positifs sont quant à eux

- des caméras de surveillance avec une permanence 24h sur 24,
- un nombre important d'issues de secours, d'extincteurs et de téléphones,
- des exercices réguliers de services de secours,
- des issues de secours bien indiquées et des panneaux de signalisation variable (Belliard),
- des liaisons entre les tubes et la ventilation automatique en cas d'incendies (Léopold II).

A titre de comparaison, le tunnel de Cointe, datant de 2000 et limité à 80 km/h, a été également évalué par Touring et a été noté comme ayant un niveau « très élevé » de sécurité. A la différence des tunnels bruxellois, le tunnel de Cointe est équipé de bandes d'arrêt d'urgence (1 m à 1,20 m de largeur), d'un éclairage d'urgence, d'une détection automatique des incidents, de plans catastrophes très élaborés et de caméras de contrôle automatique des vitesses.

4.3. Conformité avec la directive européenne

Comme expliqué ci-dessus, la directive ne s'applique pas directement aux tunnels bruxellois. Néanmoins il est recommandé de mettre en œuvre pour les tunnels bruxellois des normes de sécurité comparables à celles prescrites dans la directive. Nous analyserons ci-dessous dans quelle mesure ils sont conformes aux plus importantes de ces prescriptions de sécurité.

4.3.1. Objet et champs d'application

La directive a pour objectif d'assurer un niveau minimal de sécurité pour les usagers des tunnels par la prévention d'événements critiques et par la protection en cas d'accidents.

Elle s'applique à tous les tunnels du réseau routier transeuropéen d'une longueur supérieure à 500 m. Etant donné qu'en RBC, des conditions spécifiques (ventilation, seuil maxima des polluants) ont été fixées pour tous les tunnels de plus de 300m de long , l'AED a décidé de prendre les prescriptions de la directive comme référence pour tous les tunnels de plus de 300 m.

4.3.2. Mesures de sécurité

Les Etats membres doivent veiller à ce que les tunnels situés sur leur territoire et entrant dans le champ d'application de la directive satisfassent aux exigences de sécurité minimales prévues à l'annexe I de la directive.

Si certaines exigences de sécurité ne peuvent être respectées pour des raisons techniques ou en raison d'un coût disproportionné, des mesures de réduction de risque peuvent se substituer aux exigences de sécurité, à condition qu'elles assurent une protection équivalente ou supérieure, évaluée sur base d'une analyse de risques.

4.3.3. Acteurs

L'autorité administrative doit veiller à ce que tous les aspects de la sécurité d'un tunnel soient respectés et prendre les dispositions nécessaires pour assurer la conformité avec la directive C'est l'AED qui est l'autorité administrative pour les tunnels bruxellois.

Le gestionnaire du tunnel est un organisme privé ou public chargé de l'exploitation du tunnel. Ce rôle est également exercé par l'AED.

L'agent de sécurité coordonne toutes les mesures de prévention et de sauvegarde concernant la sécurité du tunnel. Cette personne est indépendante pour toutes les questions ayant trait à la sécurité dans les tunnels et ne reçoit pas d'instructions d'un employeur sur ces questions. Elle devrait être désignée à l'avenir par le groupe de travail « sécurité des tunnels ».

4.4. L'annexe 1 de la directive - les dispositions applicables pour la sécurité des tunnels bruxellois

En annexe I de la directive, les mesures applicables sont reprises. Nous parcourrons ici celles auxquelles les tunnels bruxellois devraient satisfaire.

2.3.2 : Dans les tunnels existants où il n'y a ni bande d'arrêt d'urgence, ni trottoir, des mesures renforcées doivent être prises

Il n'y a pas de bandes d'arrêt d'urgence dans les tunnels bruxellois, par contre des trottoirs y sont aménagés sur toute la longueur. Ces trottoirs sont très étroits et trop hauts pour permettre l'accès aux personnes à mobilité réduite (PMR). De plus, la plupart d'entre eux sont en très mauvais état. De nombreux trous dus à des dalles manquantes sont présents. Enfin, les trottoirs sont souvent instables en raison des câbles trop nombreux qui passent en dessous de la couverture de ceux-ci. Les trottoirs doivent être rénovés, avec une attention particulière pour l'accessibilité des PMR.

2.3.7 : Dans les tunnels existants de plus de 1000 m et dont le volume de trafic est supérieur à 2000 véhicules par voie, il y a lieu d'évaluer si la mise en place de nouvelles issues de secours est une solution faisable et efficace

2.3.8 : Lorsque les issues de secours sont prévues, la distance entre 2 issues de secours ne dépasse pas 500 m

La longueur de 500 m doit être considérée comme une distance maximale. Plusieurs tunnels bruxellois ne disposent pas de sorties de secours suffisantes. Des nouvelles issues ont déjà été aménagées récemment dans les tunnels (trois dans le tunnel Porte de Hal, une dans le tunnel Reyers-Centre, une dans le tunnel Belliard, une dans le tunnel Cinquantenaire).

L'interdistance entre les sorties de secours est d'environ 290 m pour le tunnel Belliard et d'environ 320 m pour tunnel Léopold II ; ce qui répond largement aux exigences de la directive pour ce point.

2.5.2 : Dans les tunnels bidirectionnels existants de plus de 1500 m dont le volume de trafic dépasse 2000 véhicules par jour et par voie et qui ne disposent pas de bandes d'arrêts d'urgence, il y a lieu d'évaluer si la construction de garages est une solution faisable et efficace.

2.5.4 : Les garages sont équipés d'un poste de secours.

Des garages sont aménagés dans les tunnels suivants : Léopold II, Porte de Hal, Rogier, Botanique, Belliard, Reyers, Loi, Cinquantenaire. Cependant le nombre de garages n'est pas suffisant par rapport à la longueur du tunnel (par exemple, un seul garage est présent dans le tunnel Belliard) et plusieurs tunnels ne disposent pas de garage. Beaucoup de véhicules en panne n'ont donc pas la possibilité d'atteindre ces

garages et sont contraints de s'arrêter sur les bandes de circulation, gênant de ce fait le trafic et créant un risque de suraccident.

2.8.3 : Un éclairage d'évacuation tel qu'un balisage lumineux, situé à une hauteur qui n'est pas supérieure à 1.5 m guide les usagers pour évacuer le tunnel à pied en cas d'urgence.

Un essai d'éclairage d'évacuation a été effectué dans le tunnel Belliard.

2.13 : Tous les tunnels de plus de 3000 m dont le volume de trafic est supérieur à 2000 véhicules par voie sont pourvus d'un poste de contrôle-commande.

2.14.1 : Des systèmes de vidéosurveillance et un système capable de détecter automatiquement les incidents de circulation (tels que les véhicules à l'arrêt) et/ou les incendies sont installés dans tous les tunnels équipés d'un poste de contrôle-commande.

Le centre Mobiris peut être considéré comme le poste de contrôle-commande pour les tunnels bruxellois. Il y a une permanence 24 h sur 24 h, avec un système de vidéosurveillance, qui peut contrôler les dispositifs de signalisation variable, les feux tricolores, le système de ventilation ainsi que la fermeture des voies.

Actuellement les tunnels Léopold II, Belliard, Cinquantenaire, Bailli et Loi sont déjà équipés d'un système de vidéosurveillance. Les autres tunnels sont équipés de caméras de comptage avec un champ de vision restreint, ne permettant pas une aussi bonne surveillance. Pour fin 2008, l'entièreté des tunnels devrait être équipée d'un système de vidéosurveillance. Il est également prévu d'équiper à terme les tunnels d'un système automatique de détection des incidents (DAI).

2.15 : Dans tous les tunnels de plus de 1000 m, des feux de circulation sont installés avant les entrées de façon à ce que les tunnels puissent être fermés en cas d'urgence. Des moyens supplémentaires tels que des panneaux à messages variables et des barrières peuvent être prévus pour assurer un respect approprié de la signalisation.

Des feux tricolores sont présents aux entrées de tous les tunnels. Les tunnels Belliard et Léopold II sont également équipés de feux d'affectations des voies, dont le fonctionnement doit cependant être amélioré pour le tunnel Léopold II.

2.16.1 : Un équipement de retransmission radio à l'usage des services d'intervention est installé dans tous les tunnels de plus de 1000 m et dont le volume est supérieur à 2000 véhicules par voie.

2.16.2 : Lorsqu'il y a un poste de contrôle-commande, il est possible d'interrompre la retransmission radio pour diffuser des messages d'urgence.

Un système de retransmission des stations radio permettant une interruption des programmes afin de diffuser un message d'urgence est prévu pour 2008. L'AED prévoit de mener parallèlement une campagne de sensibilisation sur le comportement à adopter en cas d'accident.

3.9 : Distance entre les véhicules et vitesse ; dans des conditions normales, les conducteurs de voitures particulières devraient respecter par rapport au véhicule qui les précède une distance minimale égale à la distance parcourue par un véhicule en deux secondes. En cas d'arrêt de la circulation dans un tunnel, les usagers de la route devraient maintenir

une distance minimale de 5 m par rapport aux véhicules précédent, sauf si cela n'est pas possible en raison d'arrêt d'urgence.

Les distances de sécurité recommandées par la directive européenne sont donc de 28 m à 50 km/h et de 39 m à 70 km/h. De manière générale, sur base des observations sur le terrain, ces interdistances entre véhicules ne semblent pas respectées.

4.5. Conclusion : les tunnels bruxellois ne correspondent pas aux recommandations européennes mais l'adaptation est en cours

Malgré les différentes mesures qui ont été prises ces dernières années pour améliorer la sécurité dans les tunnels bruxellois, le niveau de sécurité est encore loin d'être optimal.

Il s'agit de tunnels anciens, sans bande d'arrêt d'urgence, aux trottoirs étroits et où les mesures de sécurité en cas de catastrophes ne sont pas suffisamment développées.

Mais il existe désormais une réelle volonté d'améliorer les normes de sécurité et de se mettre en conformité avec la directive européenne. Différentes mesures telles que la généralisation d'un système de vidéosurveillance, la diffusion de messages d'urgence par radio, un éclairage d'urgence, une pré-signalisation des issues de secours, ainsi qu'une détection automatique des incidents sont prévus à court ou moyen terme.

5. Etude de risque

Comme nous l'avons vu, une augmentation des vitesses pratiquées engendrerait une augmentation des risques d'accident. Elle impliquerait systématiquement des effets négatifs non seulement en ce qui concerne la sécurité routière, mais aussi la fluidité du trafic, la qualité de l'environnement et la qualité de vie en ville.

Considérant les demandes insistantes en ce sens, nous avons toutefois voulu évaluer objectivement la faisabilité d'une augmentation des limitations de vitesse sur les axes étudiés, fixant à 70 km/h la vitesse maximale.

Pour ce faire, nous avons utilisé une méthodologie permettant d'évaluer une série de facteurs de risque présents de manière plus ou moins prononcée sur les axes étudiés.

Dans le présent chapitre, nous commencerons par décrire la méthodologie développée par le CERTU pour l'évaluation des risques dans les « zones 70 » en France.

Nous expliquerons quels facteurs de risques ont été repris pour l'étude de risque sur les voiries étudiées. Ensuite, nous décrirons chacun des tunnels et des axes étudiés et les risques présents.

Nous terminerons par un récapitulatif des risques en présence et des implications sur la possibilité théorique de fixer la limitation de vitesse de certaines voiries à 70 km/h.

5.1. Analyse de risque, l'exemple du CERTU

Le CERTU a défini une procédure [CERTU 1997] afin d'évaluer s'il est justifié de relever la limitation de vitesse à 70km/h sur des voiries urbaines. Elle a été appliquée en France sur des sections de voirie en agglomération, précédemment limitées à 50 km/h.

Cette procédure comprend deux démarches successives : l'analyse commence par une première évaluation simplifiée, à l'issue de laquelle le gestionnaire peut se faire une idée globale des risques et des comportements en présence et décider soit d'accepter, soit de refuser le passage à une limitation à 70 km/h, soit de poursuivre l'évaluation par une seconde analyse détaillée.

L'analyse simplifiée prend en considération différents critères, pour lesquels les conditions nécessaires pour augmenter la limite de vitesse jusqu'à 70 km/h sont décrites :

- le contexte : vie locale peu présente, pas d'écoles, de centres de loisirs ou d'activités, de commerces, peu de cyclistes ou de piétons
- la visibilité : bonne visibilité des accès des riverains à la voirie, des débouchés de voiries transversales ou secondaires, des espaces de traversée
- le trafic entrant et sortant : trafic transversal limité, peu d'entrées et sorties, dans des configurations n'amenant pas de croisements complexes
- la géométrie de la voie : voirie large et rectiligne
- la longueur des tronçons : longueur minimale de 400 m entre carrefours
- le stationnement : pas de stationnement le long des voies, pas de manœuvres de stationnement
- les transports en commun : pas d'arrêts de transports en commun en section

Cette première étude de la voirie doit permettre d'envisager trois possibilités.

- La voirie permet la mise en place de la limitation à 70 km/h sans analyse complémentaire, dans le cas où tous les critères cités convergent vers cette solution.
- Il est nécessaire de maintenir la limitation à 50 km/h, lorsque tous les critères ou presque s'opposent à l'augmentation des vitesses, ou si certains d'entre eux empêchent systématiquement l'introduction d'une zone à 70 km/h, même en réalisant des aménagements.
- Une étude plus approfondie est nécessaire, dans tous les cas intermédiaires où l'étude des critères ci-dessus n'a pas permis de prendre une décision univoque.

Les critères repris dans la méthodologie du CERTU s'appliquent bien aux boulevards étudiés (vu l'importance qu'elle attache aux riverains, aux usagers faibles,...). Par contre, pour étudier le cas des tunnels, les critères choisis par le CERTU sont moins

appropriés : en effet, les critères géométriques jouent dans ce cas un rôle prédominant.

Nous utiliserons donc une forme adaptée de la méthodologie proposée par le CERTU pour l'analyse de boulevards et pour l'analyse des tunnels. Les critères intervenant dans la méthode seront adaptés en fonction des conditions particulières des axes et tunnels concernés.

5.2. Facteurs de risque

Dans l'idée d'appliquer aux axes et tunnels une analyse de risque objective et cohérente, nous avons voulu définir quels éléments pouvaient introduire un risque en cas d'application d'une limitation de vitesse à 70 km/h. Ces considérations ont mené à des listes de facteurs différentes pour les tunnels et pour les boulevards.

5.2.1. Dans les tunnels

Les facteurs de risque retenus pour les tunnels sont :

- la présence de carrefours dangereux ou complexes en sortie de tunnel, avec possibilité de remontées de files dans le tunnel aux heures de pointe ou en cas d'accident (particulièrement dans les cas où la visibilité ne permet pas d'anticiper les files) ;
- la configuration dangereuse de certaines zones d'échange, d'accès ou de sortie des tunnels (bandes d'insertion ou de sortie courtes, zones d'échange avec mauvaise visibilité, manœuvres fréquentes) ;
- la géométrie (virage, dénivellation, largeur de bandes de circulation) de certains tunnels qui, par leur dimensionnement ne permettent tout simplement pas de pratiquer des vitesses plus élevées que 50 km/h ;
- la visibilité en général, dans les cas où la géométrie du tunnel ou de ses abords ne permet pas une vue dégagée suffisante sur la voie en avant du véhicule
- et la longueur des tronçons, lorsque celle-ci est particulièrement courte et ne permet pas d'y fixer une limitation de vitesse spécifique sans augmenter le risque d'accidents par des accélérations ou décélérations brusques.

5.2.2. Sur les grands axes

Pour les grands axes, nous avons retenu comme facteurs de risque :

- la présence de carrefours complexes, où les flux de véhicules se croisant représentent un danger si la vitesse est élevée ;
- la présence de stationnement latéral, imposant des manœuvres délicates aux conducteurs pour y accéder ;
- la présence d'usagers faibles ou de traversées insuffisamment protégées ;
- la présence d'une vie locale importante, avec des lieux de passage, de rencontre, de détente,... à proximité immédiate de l'axe en question ;
- le passage ou l'arrêt d'une ligne de transport en commun sur la voirie ;
- l'absence d'allée latérale permettant d'accueillir le trafic local sur des voiries parallèles, ce qui implique des variations importantes de vitesse et des manœuvres fréquentes ;
- et la longueur des sections (soit la distance entre carrefours successifs), de la même manière que pour les tunnels, lorsque celle-ci est particulièrement courte et ne permet pas d'y fixer une limitation de vitesse spécifique sans augmenter le risque d'accidents par des accélérations ou décélérations brusques, ou lorsque la cohérence avec l'axe dans son ensemble ne permet pas d'envisager des limitations de vitesse spécifiques par section.

Pour chaque axe et tunnel étudié, ces facteurs de risques ont été pris en considération. Les chapitres suivants détaillent les caractéristiques et les dangers relevés pour chacun d'eux.

5.3. Risques dans les tunnels

Les tunnels étudiés sont des tunnels unidirectionnels, à un seul sens de circulation par tube.

La plupart des tunnels comportent deux bandes de circulation par tube mis à part les tunnels du complexe Reyers (une seule bande) et le tunnel Georges Henri (qui en compte trois).

Il n'y a pas de bande d'arrêt d'urgence. De plus, les trottoirs présents sont particulièrement étroits et parfois difficilement praticables par manque d'entretien. Dans les longs tunnels, des zones de garage sont prévues pour accueillir les véhicules en panne.

5.3.1. Remarques générales

5.3.1.a. Géométrie

- *Largeur de bande*

Une bande de circulation large encourage la pratique d'une vitesse élevée.

En général, les largeurs de bandes dans les tunnels sont supérieures aux valeurs recommandées pour une vitesse de 50 km/h, environ 2,75 m d'après les recommandations de l'IBSR. Dans les tunnels Georges Henri, Vleurgat, Léopold II et Tervuren, la largeur dépasse même de loin la largeur conseillée pour une vitesse de 70 km/h, de 3,00 m à 3,15 m. Seul le tunnel de la Woluwe, d'une largeur de 3,10 m, correspond aux normes de la limitation de vitesse de 70km/h.

Les normes considérées tiennent compte d'un trafic important de poids lourds, qui nécessitent une largeur de voie supérieure aux véhicules particuliers. Dans le cas des tunnels étudiés, les poids lourds sont interdits mais les largeurs de voies semblent pourtant dimensionnées pour pouvoir les accueillir à des vitesses supérieures à celle fixée par la limitation (50 voire 70 km/h). Cela pourrait expliquer la tendance à dépasser les vitesses réglementaires : les largeurs de bande permettent aux véhicules particuliers de circuler confortablement nettement plus vite que 50 km/h.

- *Rayon de courbure*

Certains virages présents dans les tunnels ont des rayons de courbure très faibles. Ces virages sont particulièrement dangereux aux vitesses pratiquées à ces endroits.

Zones d'échange et bandes d'accès-sortie

Un autre élément de la géométrie des tunnels concerne les zones d'accès et de sortie. Ces zones sont de deux types :

- une surface d'échange unique où s'effectuent les croisements et changements de bandes nécessaires à l'entrée et à la sortie de manière simultanée
- une bande séparée du trafic principal servant à l'insertion ou à la sortie du trafic dans le tunnel.

Dans les deux cas, la longueur réservée aux opérations de changement de bande doit être suffisante pour permettre aux conducteurs de réaliser leur manœuvre de manière sécurisée.

Le CETUR recommande de réserver au moins 100 m à une bande d'insertion ou de sortie pour le changement de bandes de circulation.

5.3.1.b. Signalisation

Plusieurs types de panneaux de signalisation sont installés dans les tunnels ou aux abords de ceux-ci.

Des feux de circulation sont présents à toutes les entrées qui en permettent la fermeture en cas d'incident ou pour la maintenance et l'entretien.

La signalisation suivante est également présente à toutes les entrées de tunnels :

- Signal C24a - accès interdit aux véhicules transportant des matières dangereuses ;
- Signal C21 3.5 t - accès interdit aux véhicules dont la masse en charge dépasse 3.5 t ;
- Signal F9 - route pour automobiles.



Entrée du tunnel Botanique



Entrée du tunnel Tervuren

D'après la police, il semblerait que le signal F9 porte à confusion quant à la limitation de vitesse en vigueur. Certains conducteurs pensent que ce panneau sous-tend une limitation de 70 km/h ou encore de 90 km/h

Les tunnels se trouvant en agglomération, ceux-ci sont par défaut limités à 50 km/h sauf signalisation contraire. Aucune limitation de vitesse n'est donc indiquée pour les tunnels limités à 50 km/h. Pour les tunnels limités à 70 km/h, à savoir le tunnel Loi, le tunnel Cinquantenaire, le tunnel Tervuren et le tunnel de la Woluwe, un signal C43 70 km/h est placé à l'entrée du tunnel.

Pour les tunnels présentant un virage prononcé, un signal A1 (attention virage dangereux) est également placé.



Tunnels Reyers-Centre - portique d'entrée en agglomération



Tunnel Reyers-Meiser – affichage variable

Un portique d'entrée est placé en début d'agglomération sur l'autoroute E40 à hauteur des tunnels Reyers. Il est particulièrement utile pour indiquer clairement la limitation de vitesse qui passe progressivement de 120 à 50 km/h.

Des panneaux à message variable de taille réduite (une ligne de caractères) sont placés aux entrées des tunnels, permettant l'indication succincte des événements perturbant le trafic.

5.3.2. Tunnel Léopold II

Le tunnel Léopold II est un tunnel long (2560 m) où la vitesse est actuellement limitée à 50 km/h.

Les bandes de circulation y ont une largeur moyenne de 3,30 m.

Des dénivellations sont présentes, surtout importantes au niveau des entrées et sorties. Des virages particulièrement marqués (avec des rayons de courbures compris entre 125 et 260 m) apparaissent entre les accès Basilique et l'extrémité du tunnel, du côté de l'avenue Charles Quint.

Les accès présentent des bandes d'insertion ou de sortie de différentes longueurs, parfois très réduites.

Des remontées de files (présences de véhicules à l'arrêt pour cause de saturation de la voirie dans ou à l'extérieur du tunnel) apparaissent fréquemment aux périodes de forte densité de circulation, au niveau des différentes sorties.

Le tunnel Léopold II est représenté sur la figure 34.

5.3.3. Tunnels de la petite ceinture

Les tunnels de la petite ceinture sont en général des tunnels relativement courts, très proches les uns des autres. Les zones d'échange présentes entre les tunnels successifs sont le plus souvent très courtes.

Les bandes de circulation ont une largeur d'environ 3,20 m.

Les virages les plus importants se situent dans le tunnel Botanique (rayon de courbure de 120 m), dans le tunnel Porte de Halle (présence de deux virages imbriqués l'un dans l'autre : un virage large en direction de Louise et un virage beaucoup plus serré qui apparaît brusquement vers l'extrémité du tunnel en direction de la gare du Midi) et sur la bretelle d'accès à l'avenue Louise dans le tunnel Louise (rayon de courbure d'environ 40 m).

La visibilité est souvent réduite à la sortie des tunnels, au niveau des zones d'échange. Il est fréquent d'observer des remontées de files à l'approche des carrefours importants. Ces files causent un risque d'accident souvent aggravé par le manque de visibilité.

Les tunnels de la petite ceinture sont représentés à la figure 35.

5.3.4. Tunnels de l'avenue Louise

Les tunnels de l'avenue Louise sont le tunnel Vleurgat (un peu plus de 50 m de long), le tunnel Bailli (362 m) et le tunnel Stéphanie (467 m).

La largeur des bandes de circulation est de 3,40 m.

Un virage important est présent au niveau du tunnel Stéphanie, en direction de la porte de Namur (rayon de courbure d'environ 30 m). La visibilité à la sortie des tunnels est limitée et les zones d'échange sont courtes.

Les tunnels de l'avenue Louise sont représentés sur la figure 36.

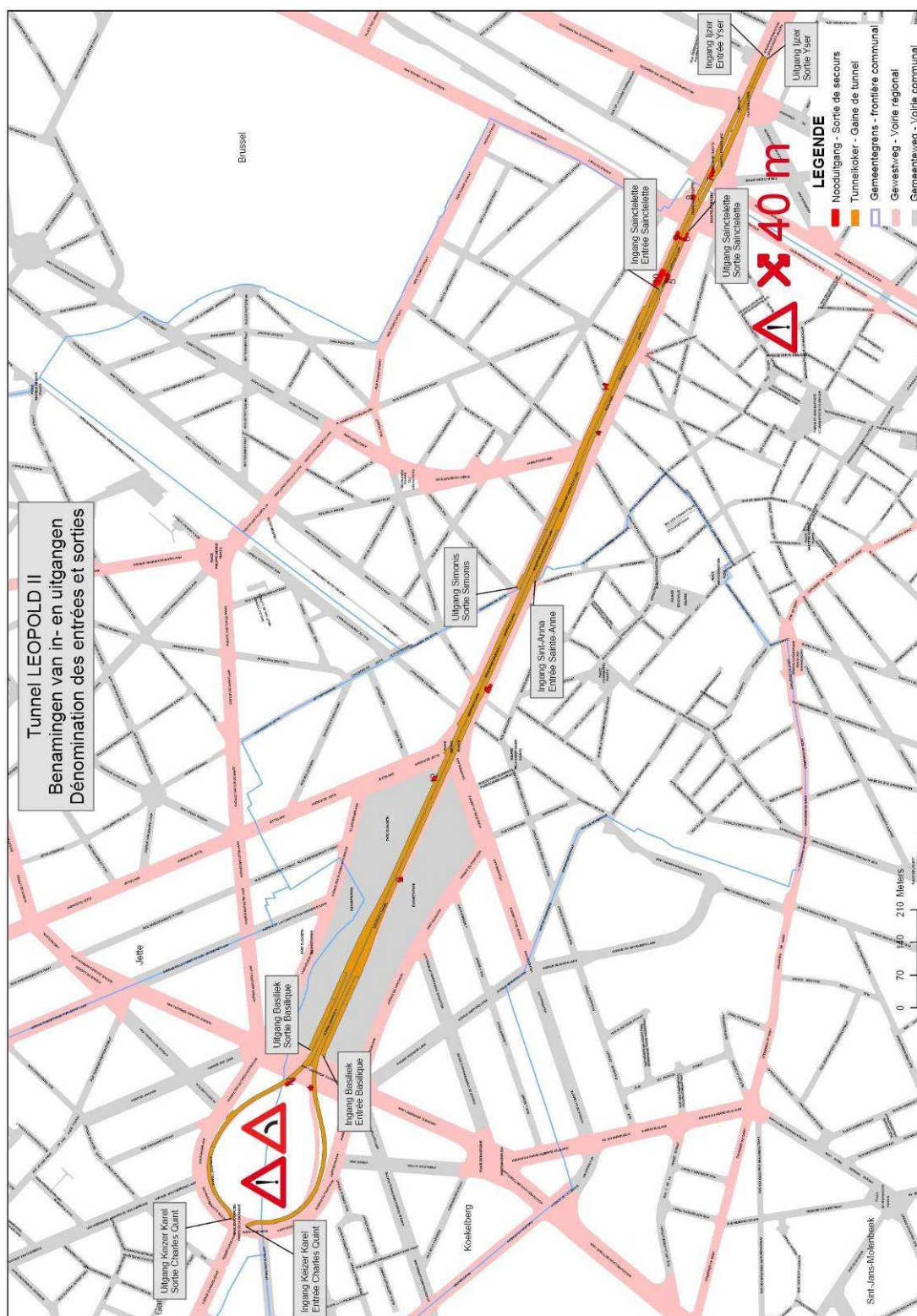


Figure 34 : carte du tunnel Léopold II reprenant certains risques présents

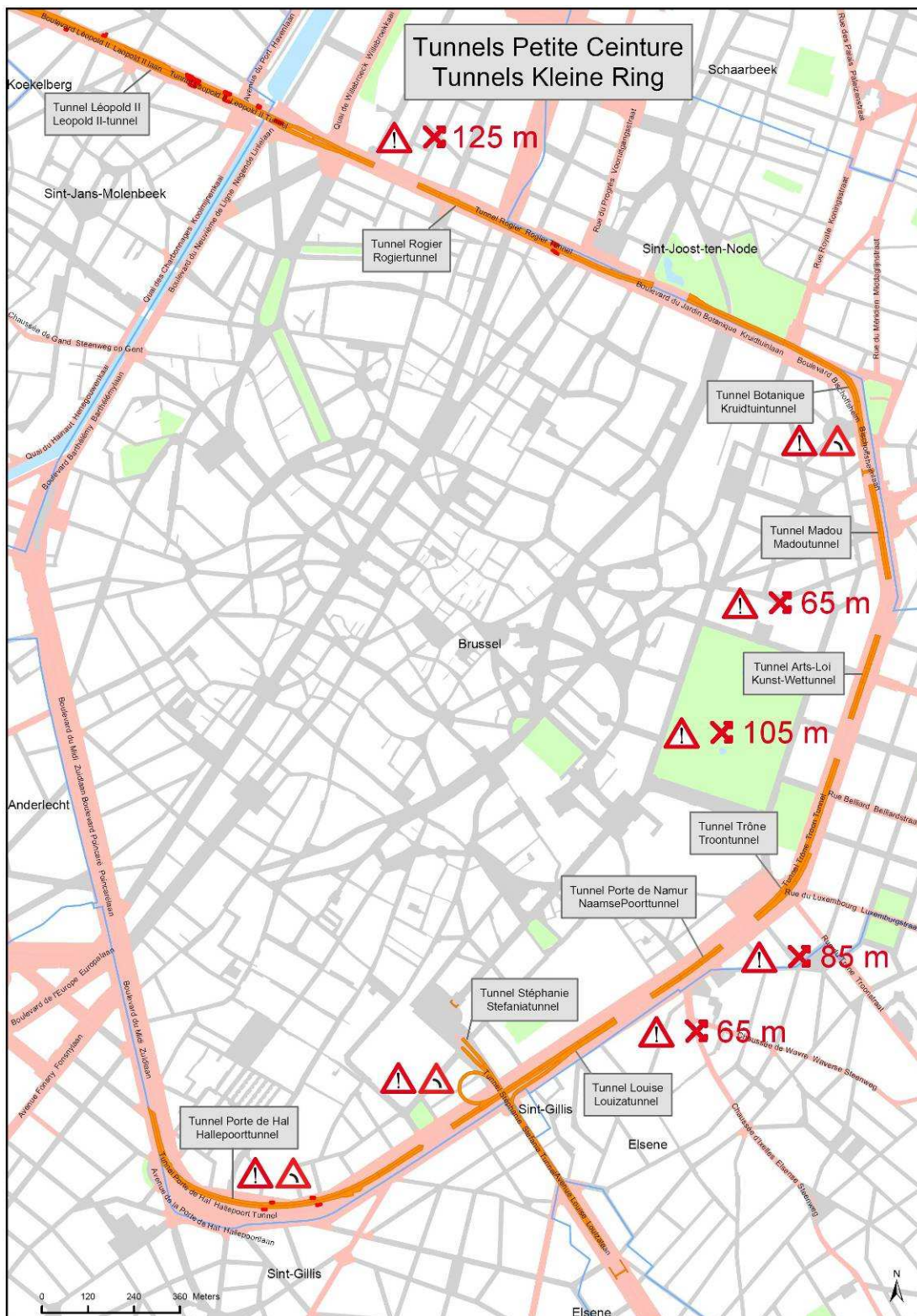


Figure 35 : carte des tunnels de la petite ceinture reprenant certains risques présents

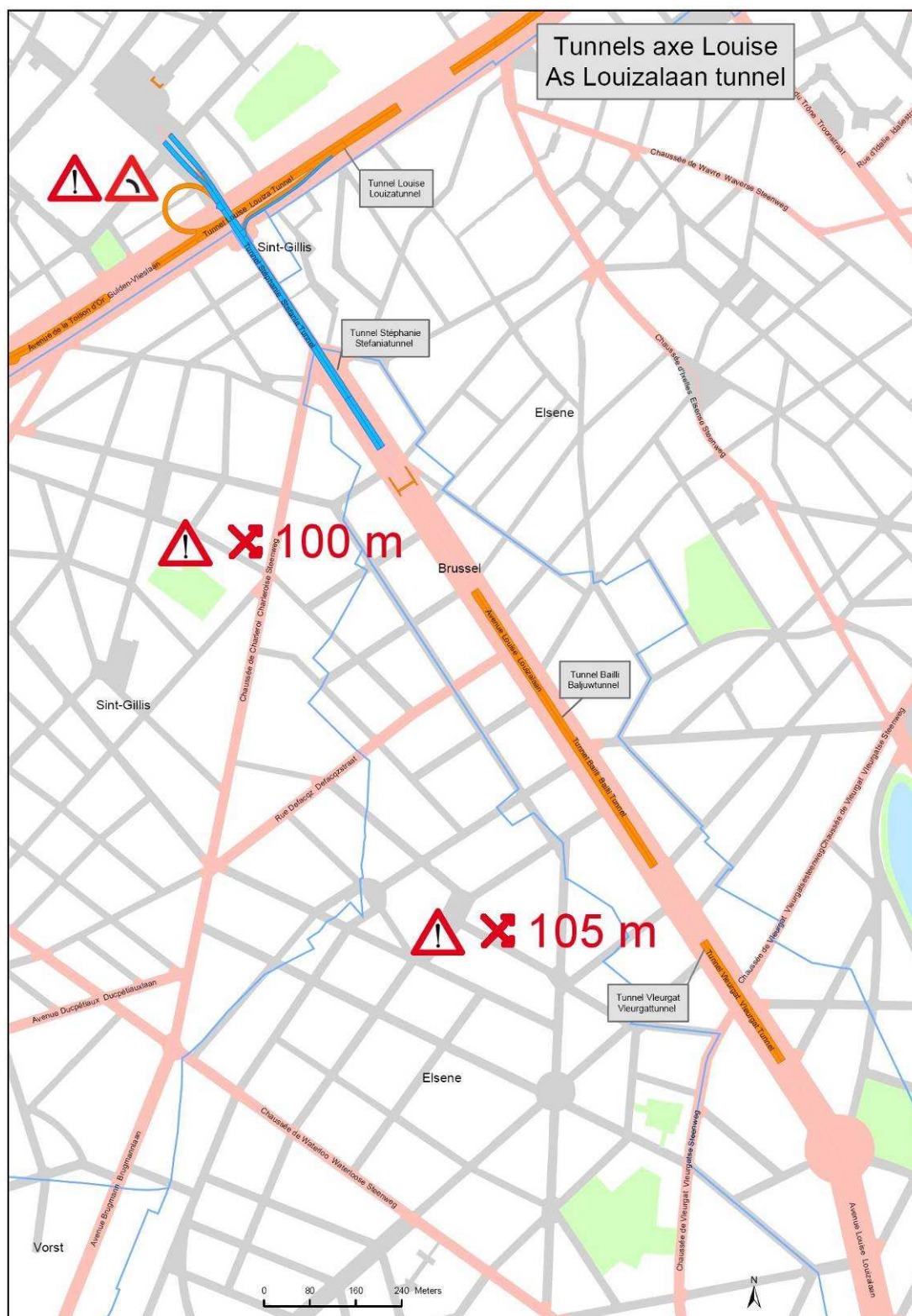


Figure 36 : carte des tunnels de l'avenue Louise reprenant certains risques présents

5.3.5. Tunnels de l'axe Tervuren-Loi

Les tunnels de cet axe sont les tunnels Loi (400 m de long), Cinquantenaire (635 m) et Tervuren (195 m). La limitation de vitesse dans ces tunnels est actuellement fixée à 70 km/h (en cohérence avec l'axe dans lequel ils s'inscrivent). La largeur des bandes de circulation est de 3,30 m. Il s'agit de tunnels rectilignes. Dans le tunnel Loi, une entrée ou sortie peu fréquentée est présente dans chaque sens, près de l'extrémité du tunnel du côté de la rue de la Loi.

Pour ces trois tunnels, des files sont possibles en amont de la sortie aux heures de pointe. Dans le tunnel Tervuren particulièrement, la dénivellation importante implique une visibilité réduite aux entrées et sorties du tunnel. De même, à la sortie du tunnel Loi, la visibilité est limitée alors que les files sont fréquentes dès l'entrée de la rue de la Loi.

Les tunnels de l'axe Tervuren-Loi sont représentés sur la figure 38.

5.3.6. Tunnel Reyers-Centre

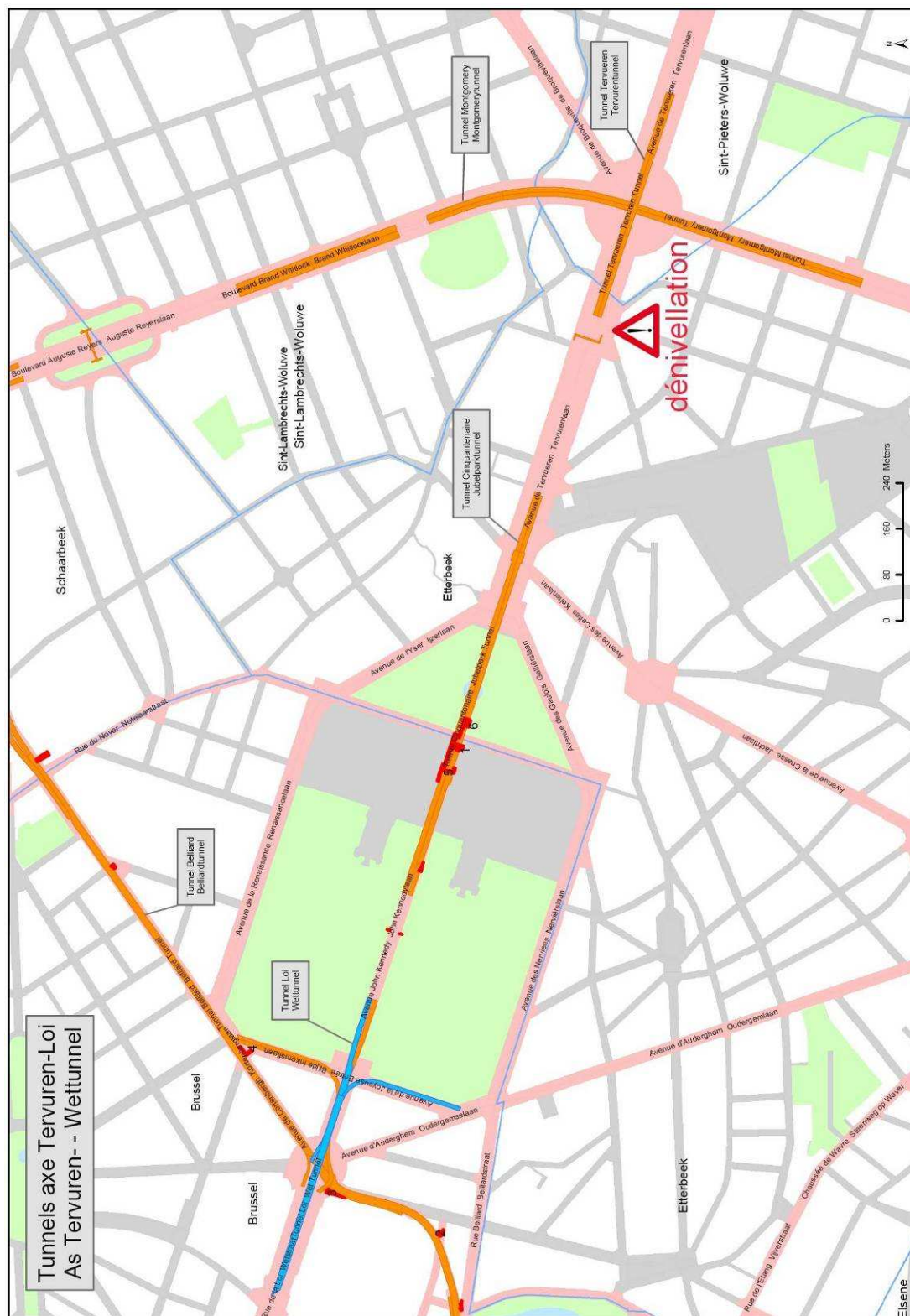
Le tunnel Reyers-Centre (longueur 750 m) est une des voies d'accès principale au centre-ville, depuis l'autoroute E40. Ce tunnel comptait initialement deux bandes de circulation (dans la même direction). La bande de droite a été hachurée (cfr figure 37) afin de réduire la capacité et de limiter le trafic entrant en ville en heure de pointe, avec pour conséquence de maintenir les goulots d'étranglement à l'extérieur de la ville. La bande de circulation restante a une largeur d'environ 3 m.



Figure 37 : tunnel Reyers-Centre (une seule bande de circulation par tube)

La zone hachurée peut également être utilisée comme bande d'arrêt d'urgence. Cependant, selon le code de la route il est interdit de circuler ou de s'arrêter sur ces zones d'évitement. Il y aurait donc lieu de modifier le marquage afin de créer une bande d'arrêt d'urgence réglementaire. Un virage important est présent aux environs du milieu du tunnel qui est par ailleurs quasiment rectiligne. A la sortie du tunnel, des files sont possibles.

Le tunnel Reyers-Centre est représenté à la figure 39.



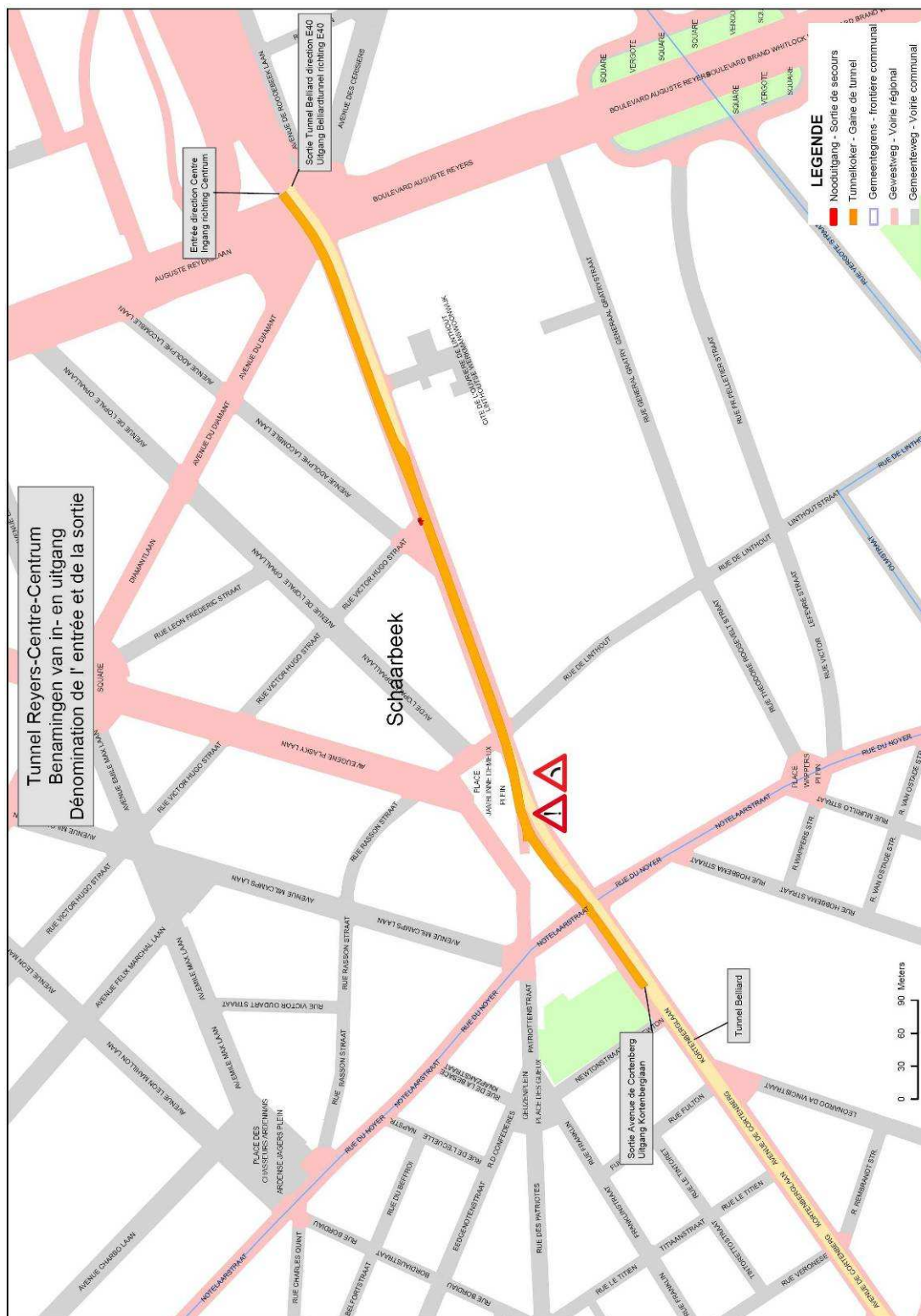


Figure 39 : carte du tunnel Reyers-Centre reprenant certains risques présents

5.3.7. Tunnels du complexe Reyers

Il s'agit des tunnels Reyers-Montgomery et Reyers-Meiser. Chacun de ces tunnels est d'une longueur approximative de 100 m. Ils sont tous les deux composés d'une unique bande de circulation d'une largeur de 3 m.

Ces deux tunnels, quasiment symétriques, s'inscrivent entièrement en virage serré. Les bandes d'insertion sur l'axe Reyers-Montgomery depuis ces tunnels sont courtes et rendent parfois l'insertion délicate, surtout lorsque la densité de circulation est forte.

Ces tunnels sont représentés sur la carte à la figure 40.

5.3.8. Tunnels de la grande ceinture

Les tunnels de la grande ceinture sont les tunnels Georges Henri (30 m de long), Montgomery (525 m) et Boileau (50 m). Les tunnels Georges Henri et Boileau sont des tunnels très courts.

Les bandes de circulation ont une largeur importante : 3,50 m.

Ces trois tunnels ont une visibilité limitée à leurs extrémités (entrées et sorties) notamment liée à la dénivellation. Les zones d'échange sont également très courtes et des files apparaissent régulièrement sur celles-ci en s'étendant jusque dans les tunnels.

Les tunnels Boileau, Montgomery et Georges Henri sont représentés sur la figure 41.

5.3.9. Tunnel Belliard

Le tunnel Belliard est un long tunnel (plus de 2000 m). Il comporte deux bandes de circulations qui ont une largeur de 3,30 m dans la première partie du tunnel puis se réduisent à 3 m pour la dernière ligne droite.

Au début du tunnel, à l'entrée de la rue Belliard, se trouve une zone d'échange importante (directions Cinquante-Tervuren et E40). Cette zone est de plus assortie de deux virages successifs très importants. On observe des manœuvres très fréquentes et souvent imprévisibles de changements de bande avant la bifurcation.

Dans la deuxième partie du tunnel, avant la sortie sur l'autoroute E40, un autre virage est présent, moins serré mais associé à un rétrécissement des bandes de circulation qui tend à surprendre les conducteurs.

Le tunnel Belliard est représenté à la figure 42.



Figure 40 : carte des tunnels du complexe Reyers reprenant certains risques présents



Figure 41 : carte des tunnels de la grande ceinture reprenant certains risques présents

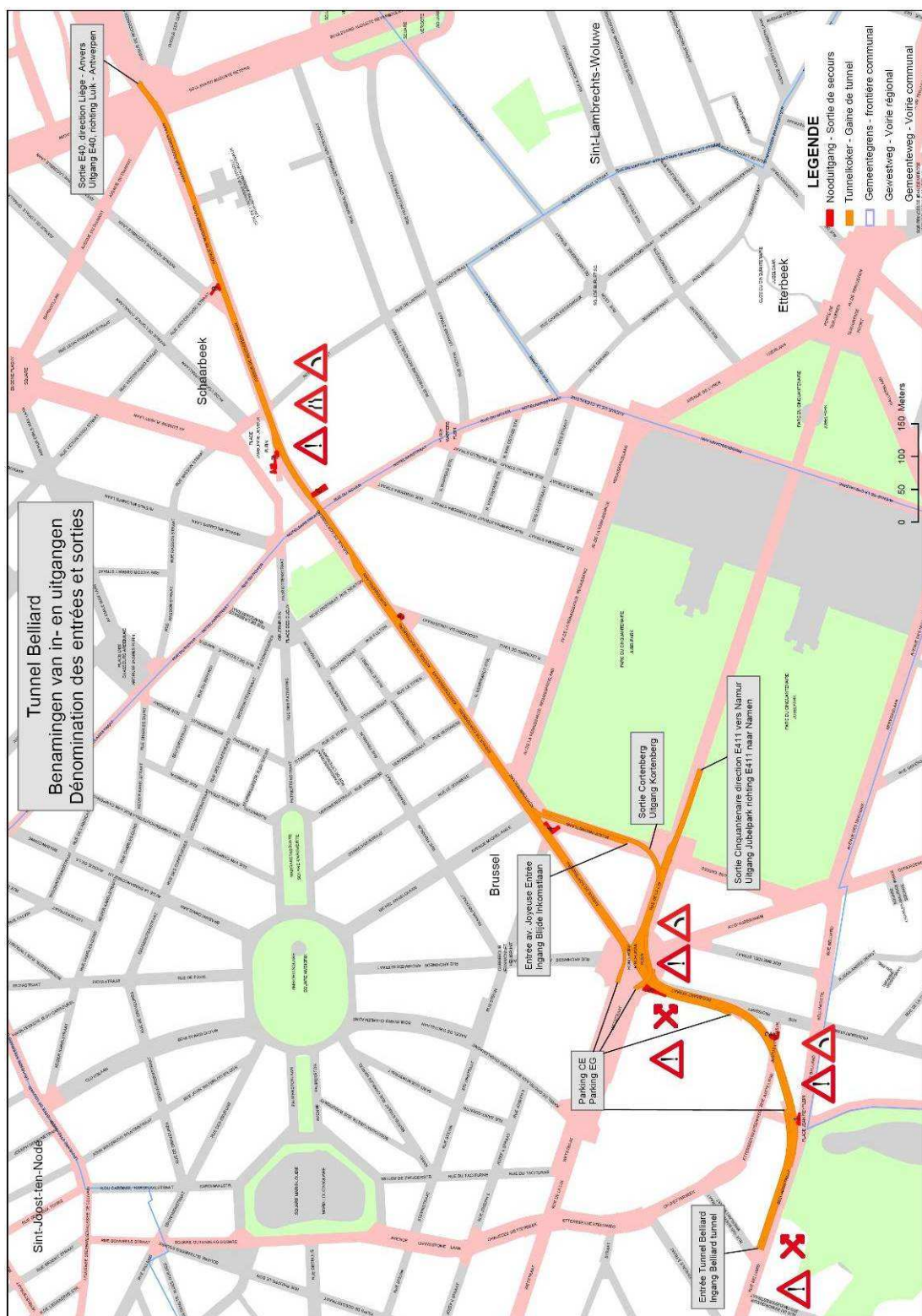


Figure 42 : carte du tunnel Belliard reprenant certains risques présents

5.3.10. Tunnel Woluwe

Le tunnel Woluwe est un tunnel court et isolé, situé sur le boulevard de la Woluwe. C'est une ligne droite qui présente une dénivellation importante. Un réaménagement de la voirie dans et aux alentours du tunnel est planifié.

La visibilité à l'entrée et à la sortie du tunnel est limitée.

5.3.11. Tunnel Delta

Le tunnel Delta est un tunnel court et isolé, en fin de la voirie de type 2 x 2 bandes qui prolonge l'autoroute E411 à son entrée dans Bruxelles. Un virage important est présent dès l'entrée, ainsi qu'une forte dénivellation immédiatement après, à la sortie.

Ces deux éléments limitent fortement la visibilité à la sortie du tunnel, alors que des files sont possibles (qui remontent fréquemment depuis les carrefours à feux en aval du tunnel).

5.4. Risques sur les grands axes

5.4.1. Boulevards Lambermont et Général Wahis

Le boulevard Lambermont, d'une longueur de 2610 m, est prolongé par le boulevard Général Wahis, d'une longueur de 800 m. Ces 2 boulevards sont situés entre la place Meiser et le tunnel Van Praet.

Ils sont catégorisés au PRD comme voies métropolitaines accueillant les grands flux de déplacements de la Région.



Direction Van Praet



Direction Meiser



Contre allée, présence de nombreux ralentisseurs de trafic



Direction Van Praet, piste cyclable qui revient sur la chaussée au carrefour

- *Vie locale*

Dans la direction du tunnel Van Praet, ces boulevards sont bordés d'immeubles de logements de 6 à 8 étages, voire plus. Plus bas vers le canal, les immeubles sont souvent d'anciennes maisons de maître dont le rez-de-chaussée et le jardinet à rue ont été transformés pour y garer des voitures.

Dans la direction de la place Meiser, ces boulevards sont bordés de maisons 4 façades légèrement en retrait du boulevard. Quelques-unes de ces maisons sont affectées à des bureaux.

Venant du canal vers Meiser, à droite, se trouvent aussi le parc Josaphat, une école et un hall de sports.

Quelques commerces de proximité sont présents dans le bas du Lambermont, à proximité de l'av Princesse Elisabeth.

- *Configuration*

A la figure 43 se trouve la carte reprenant le profil en travers et la largeur des voies du boulevard.

L'allée latérale est équipée de nombreux ralentisseurs de vitesse. La vitesse qui y est autorisée est cependant maintenue à 50 km/h.

- *Usagers faibles*

Beaucoup de piétons fréquentent ces boulevards (écoles, parc...). Les traversées piétonnes sont gérées par des carrefours à feux.

Les lignes de tram 23-90 circulant sur ces boulevards sont fort empruntées et occasionnent de nombreux mouvements piétons pour rejoindre les arrêts. Le site propre est situé au-delà des 2 chaussées principales, côté parc.

Les cyclistes circulent sur piste cyclable séparée ou sur l'allée latérale.

- *Stationnement*

Le stationnement est longitudinal le long de la voie de circulation en direction de Van Praet et sur allée latérale en direction de Meiser. Il n'y a pas de zone tampon entre la zone de stationnement et les bandes de circulation. Les manœuvres de stationnement des riverains et clients des commerces sont fréquentes.

- *Intersections*

Les intersections sont gérées par des carrefours à feux. Un marquage au sol est présent à proximité des carrefours, qui transforme en bande de tourne-à-droite l'emplacement par ailleurs réservé à la zone de stationnement.

Depuis peu, dans la direction du canal, la bande de gauche a été presque systématiquement transformée en bande de tourne-à-gauche, gérée par une phase de feux indépendante.

Le trafic transversal est de manière générale relativement important et très important au carrefour avec le Boulevard Léopold III.

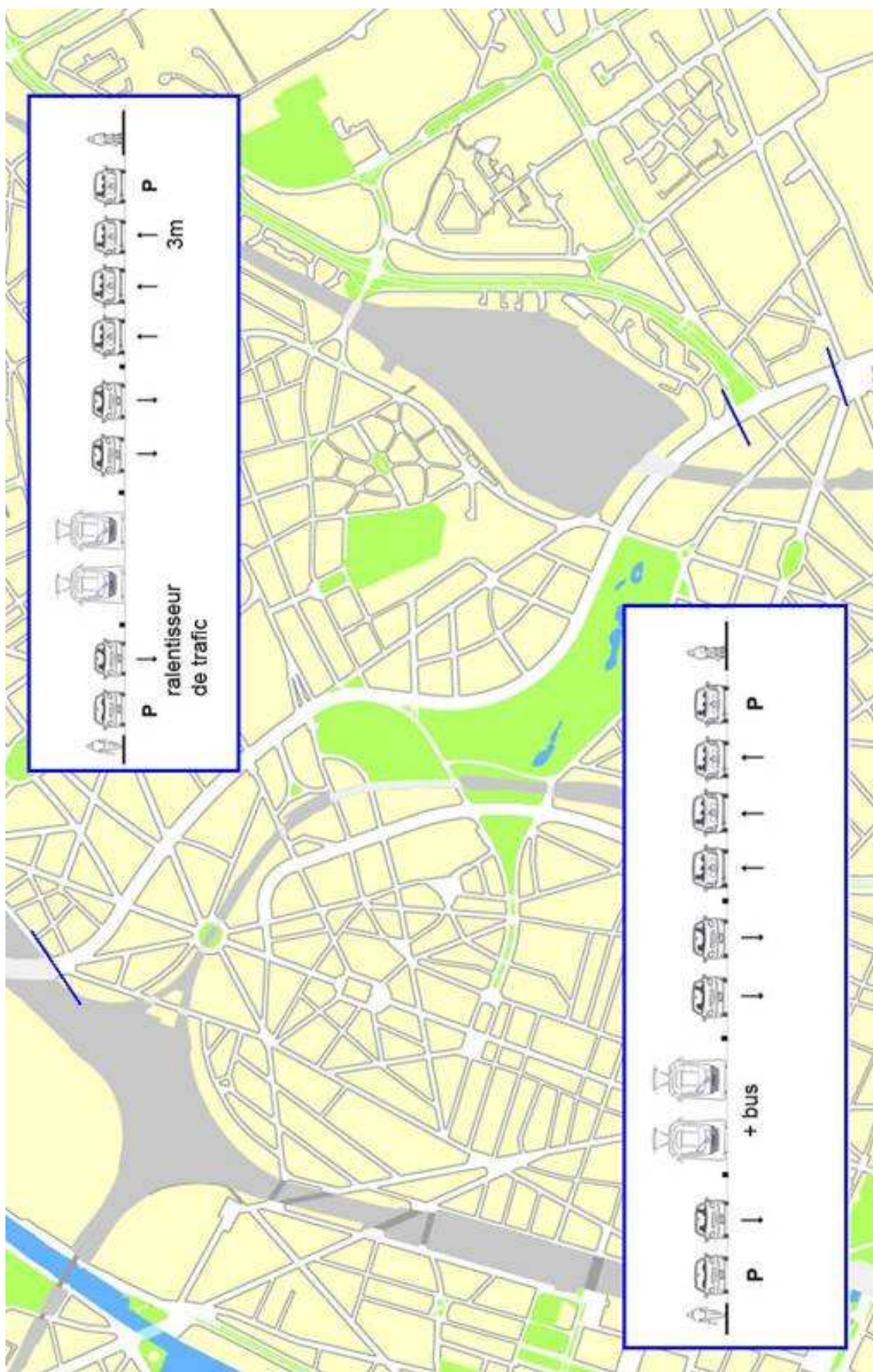


Figure 43 : carte des boulevards Lambermont et Général Wahis

- Longueur moyenne des sections

Boulevard Lambermont	Boulevard G Wahis
Vers Van Praet : 163 m	Vers Van Praet : 160 m
Vers Meiser: 326 m	Vers Meiser : 400 m

Table 14 : longueur moyenne des sections

- Signalisation



Dans le cadre d'une campagne de sensibilisation à la vitesse, les panneaux suivants ont été placés au début du boulevard Lambermont, dans les deux sens :

- panneau indiquant le nombre de PV établis
- panneau incitant à rouler à 50 km/h sur base du principe de l'onde verte
- panneau sensibilisant au bruit routier

De plus, des panneaux de rappel 50 km/h ont été placés tout le long du boulevard ce qui n'est généralement pas le cas sur les axes limités à 50 km/h de la Région.

5.4.2. Boulevards Reyers, Brand Whitlock et Saint Michel

Les boulevards Reyers, Brand Whitlock et Saint Michel sont situés entre la place Meiser et l'avenue Commandant Lothaire ; Ils ont une longueur totale de 2900 m. Ils sont catégorisés au PRD comme voies métropolitaines accueillant les grands flux de déplacements de la Région.



Bvd Reyers-direction Meiser



Bvd Reyers - viaduc



Bvd Brandt Withlock – allée latérale



Entrée tunnel Georges Henri

- *Vie locale*

Ces boulevards sont bordés principalement par des immeubles de logements de grande taille et des maisons plus anciennes à hauteur du viaduc.

Par la présence de l'allée latérale, ces habitations sont en léger retrait par rapport au trafic principal.

- *Configuration*

Aux figures 44 et 45 se trouvent les cartes reprenant le profil en travers et la largeur des voies de ces boulevards.

Ces cartes indiquent également les carrefours ayant été catégorisés comme « point noir » par l'étude d'Irissafe [Irissafe 2006].

- *Usagers faibles*

Un nombre relativement important de piétons est présent sur ces boulevards.

Les traversées piétonnes sont gérées par des carrefours à feux. Le faible nombre d'endroits de traversées entre Montgomery et Diamant, rend la circulation des piétons et cyclistes particulièrement fastidieuse à cet endroit.

Les cyclistes circulent sur l'allée latérale mais vu la vitesse pratiquée et les interactions avec la voirie principale, y circuler à vélo est inconfortable et dangereux.

- *Stationnement*

Le stationnement est longitudinal et parfois bilatéral sur allée latérale.

- *Intersections*

Les intersections sont gérées par des carrefours à feux. Le trafic transversal est relativement important.

- *Longueur moyenne des sections*

Boulevard Reyers	Boulevard Brand Whitlock	Boulevard Saint Michel
Vers Meiser: 448 m	Vers Meiser: 128 m	Vers Montgomery: 150 m
Vers Montgomery: 142 m	Vers Montgomery: 141 m	Vers la Cambre : 150 m

Table 15 : *longueur moyennes des sections*

- *Signalisation*

Il n'y a pas de signalisation particulière sur ces boulevards.

Une signalisation zone 30 – abords d'école est placée sur l'allée latérale boulevard Saint Michel à hauteur du Collège Saint Michel ;



Figure 44 : carte des boulevards Reyers et Brand Whitlock

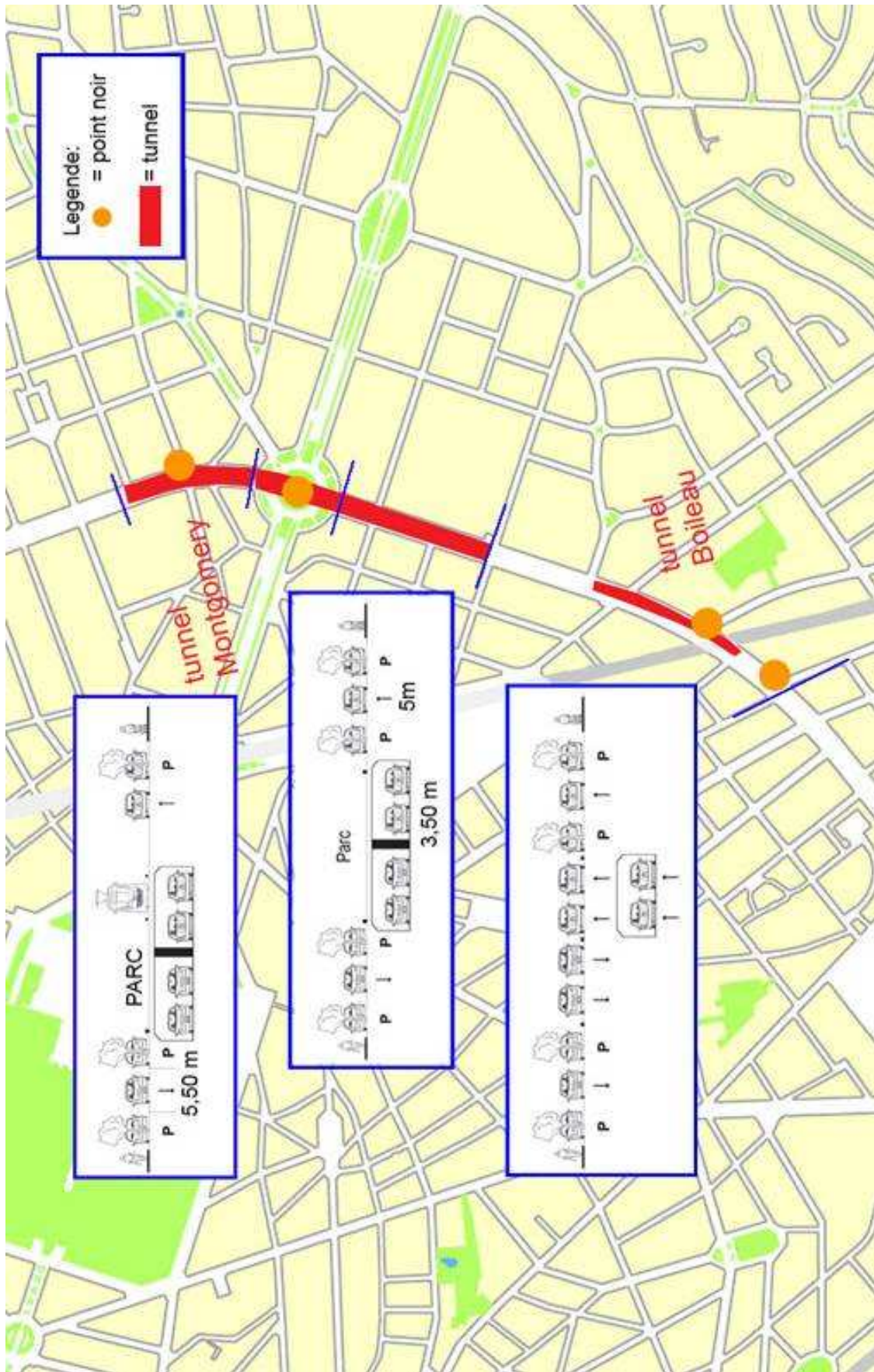


Figure 45 : carte des boulevards Brand Whitlock, Saint Michel

5.4.3. Boulevards Général Jacques et Louis Schmidt

Le boulevard Louis Schmidt, d'une longueur de 815 m et son prolongement le boulevard Général Jacques, d'une longueur de 1735 m, sont situés entre l'avenue Commandant Lothaire et l'avenue F. Roosevelt. Ils sont catégorisés au PRD comme voies métropolitaines accueillant les grands flux de déplacement de la Région.

- *Vie locale*

Le boulevard Louis Schmidt est bordé par des immeubles de logements d'une dizaine d'étages à front de rue. Quelques bâtiments ont été réaffectés en bureaux.



La première partie du boulevard Général Jacques, entre la chaussée de Wavre et la gare d'Etterbeek, est bordé sur la droite par les anciennes casernes réaffectées en bureaux et logements et sur la gauche par le campus de la VUB.

La deuxième partie du boulevard, entre la gare d'Etterbeek et l'avenue F. Roosevelt, présente un bâti serré constitué de maisons de rapport. Des commerces ou bureaux de PME occupent les rez-de-chaussée de certaines maisons.

- *Configuration*

A la figure 46 se trouve la carte reprenant le profil en travers et la largeur des voies des boulevards.

- *Usagers faibles*

De nombreux piétons circulent le long de ces boulevards (notamment dans le quartier des deux universités).

Les lignes de tram 23-90 présentes sur ces boulevards sont fort empruntées et occasionnent de nombreux mouvements piétons pour rejoindre les arrêts. Le site propre est localisé au centre des deux chaussées. Des piétons traversent régulièrement à la phase rouge du feu piéton pour monter in extremis dans le tram.

Les cyclistes doivent circuler sur une chaussée à 3 bandes de circulation au trafic dense ce qui est particulièrement inconfortable voire dangereux.

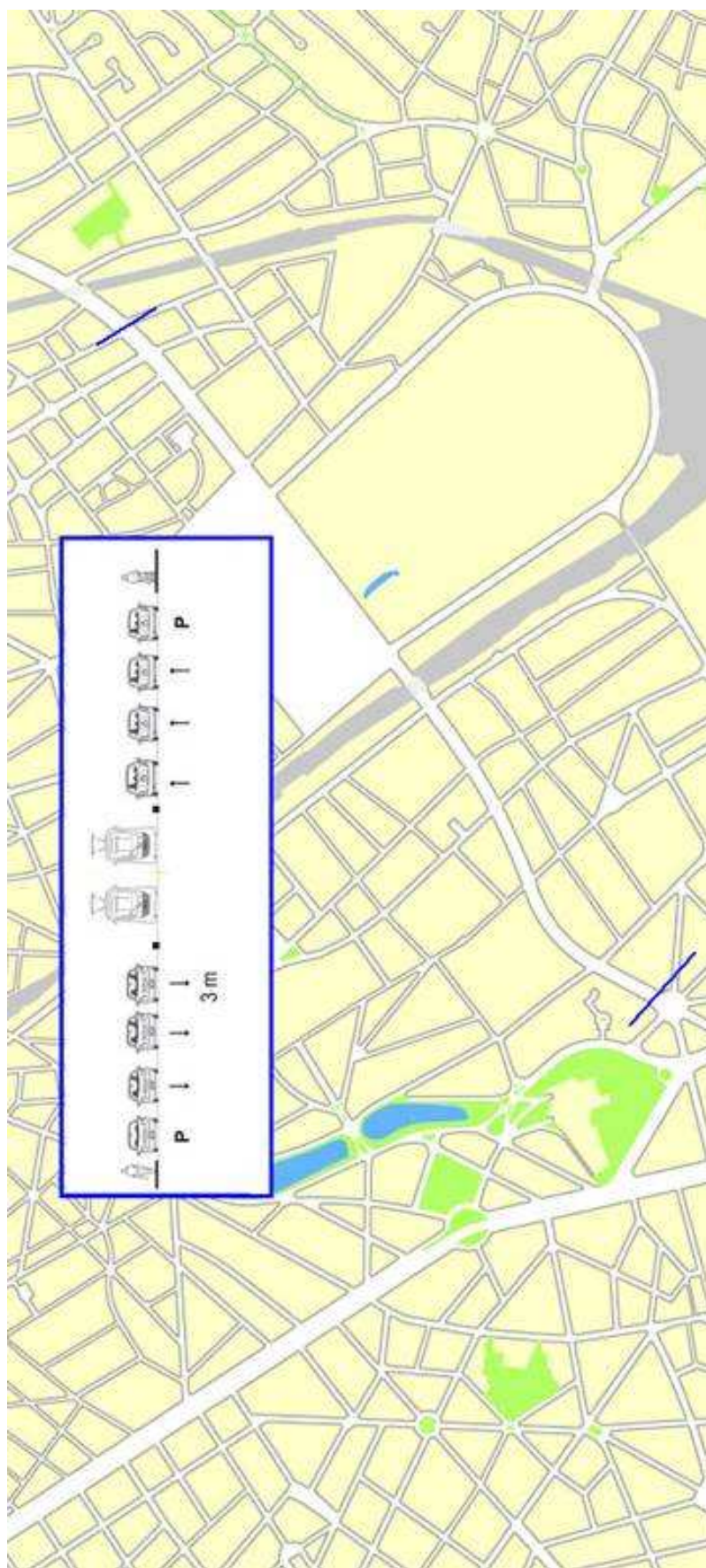


Figure 46 : carte des boulevards Louis Schmidt et Général Jacques

- *Vitesse*

La présence de nombreux carrefours à feux et le trafic dense induisent une vitesse modérée du flux de circulation. D'après les contrôles radars de la police la vitesse moyenne est de 46km/h. Les mesures ont confirmé que la vitesse pratiquée est relativement proche de la limitation.

- *Stationnement*

Le stationnement est longitudinal. Il n'y a pas de zone tampon entre la zone de stationnement et les bandes de circulation. De nombreuses manœuvres se produisent dues au stationnement des riverains et clients des commerces.

- *Intersections*

Les intersections sont gérées par des carrefours à feux. Un marquage au sol est présent à proximité des carrefours, qui transforme en bande de tourne-à-droite l'emplacement par ailleurs réservé à la zone de stationnement.

Des bandes de tourne-à-gauche sont également marquées aux carrefours importants.

Le trafic transversal est fort important, tout particulièrement au carrefour avec l'avenue de la Couronne, qui est régulièrement bloqué. 20 accidents y ont eu lieu au cours de l'année 2005. La phasage des feux a depuis lors été modifié.

- *Longueur moyenne des sections*

Boulevard G Jacques	Boulevard L Schmidt
Vers Montgomery : 193 m	Vers Montgomery : 163 m
Vers la Cambre : 216 m	Vers la Cambre : 163 m

Table 16 : longueurs moyennes de sections

- *Signalisation*

Il n'y a pas de signalisation particulière sur ces boulevards.

5.4.4. Avenue Charles Quint

L'avenue Charles Quint, d'une longueur de 2185 m, est située entre la Basilique de Koekelberg et l'autoroute (Ring + E40 vers Gand). Elle est une voie métropolitaine et constitue un axe de pénétration dans la ville qui se prolonge par le tunnel Léopold II.



- *Vie locale*

La première partie de l'avenue située entre la Basilique et l'avenue de Termonde présente un profil urbain avec un front bâti de part et d'autre de la voirie. Le bâti est principalement constitué d'immeubles de logement à 3 ou 4 étages. De nombreux commerces sont présents au rez-de-chaussée. Une école est également présente au début de l'avenue à côté de la Basilique.

La partie située entre l'avenue de Termonde et l'autoroute, présente par contre un profil plus suburbain avec la présence d'immeubles de grand taille implantés en recul de l'alignement (shopping center, immeuble de bureau,...) et par une large étendue de terre cultivée, le site du Zavelberg. Une zone d'habitat est cependant présente entre la chaussée de Gand et l'avenue des Bardanes.

- *Configuration*

A la figure 47 se trouve la carte reprenant le profil en travers et la largeur des voies du boulevard.

La carte indique également le carrefour chaussée de Gand - avenue Charles Quint qui a été catégorisé comme « point noir » par l'étude d'Irissafe [Irissafe 2006].

- *Usagers faibles*

De nombreux piétons sont présents principalement dans la première partie de l'avenue bordée de commerces de proximité et d'une école. De nombreux étudiants se rendent également au cours du soir et ce majoritairement en transport en commun. Ils doivent pour ce faire traverser la rue pour rejoindre l'arrêt de tram.

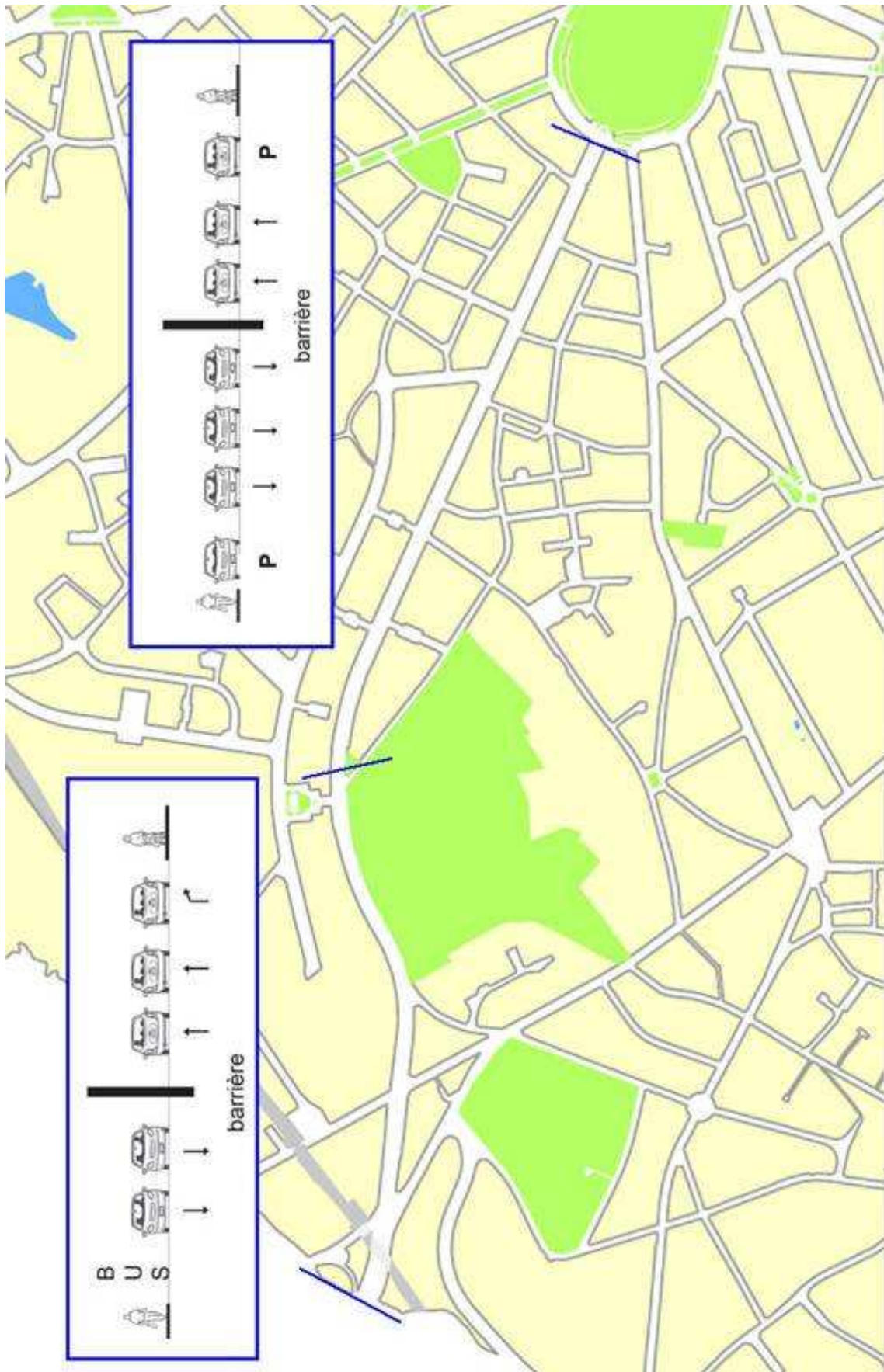


Figure 47 : carte du boulevard Charles Quint

Les traversées piétonnes sont gérées par des carrefours à feux. Une barrière avec des plantations a été installée entre les sens de circulation afin d'empêcher les traversées des piétons en dehors des carrefours à feux. Les deux rives de l'avenue se retrouvent ainsi coupées l'un de l'autre, les détours imposés aux piétons étant souvent fort longs

Différentes lignes de bus passent sur l'avenue (3 lignes de bus de Lijn + ligne STIB 87 entre Basilique et rue Beeckemans) engendrant des mouvements piétons

Les cyclistes sont peu nombreux mais doivent circuler sur la chaussée

- *Vitesse*

D'après les mesures de la zone de police Bruxelles Ouest, la vitesse moyenne est située entre 46 et 54km/h pour un jour de semaine et aux environs de 54km/h un jour de weekend.

- *Stationnement*

Le stationnement est longitudinal avec de nombreuses manœuvres de stationnement des riverains, clients des commerces ou parents d'élèves.

- *Intersections*

Les intersections sont gérées par des carrefours à feux. Un marquage au sol est présent à proximité des carrefours, qui transforme en bande de tourne-à-droite l'emplacement par ailleurs réservé à la zone de stationnement.

Le trafic transversal est important.

- *Longueur moyenne des sections*

Vers la Basilique : 218 m

Vers le Ring : 464 m

- *Signalisation*

Il n'y a pas de signalisation particulière sur ces boulevards.

5.4.5. Boulevard de la Woluwe

Le boulevard de la Woluwe, d'une longueur de 2860 m, est situé entre l'avenue de Tervuren et le Ring. Il est une voirie métropolitaine qui constitue un axe de pénétration dans la ville.

La limitation de vitesse en vigueur est fixée à 70 km/h sur les chaussées centrales et 50 km/h pour l'allée latérale. L'allée latérale située à hauteur d'une Sint Jozeph's Collège et du Collège Jean XXIII est limitée à 30 km/h.



- *Vie locale*

Dans sa première partie, entre l'avenue de Tervuren et l'avenue Hippocrate en direction du ring, le boulevard est bordé sur sa droite par le parc des Sources et du Château Malou. De l'autre côté du boulevard, des immeubles de taille imposante sont implantés (Shopping Center, Rob, immeubles de bureaux). Deux Collèges sont également présents en début de tronçon.

Dans sa deuxième partie, le boulevard est bordé de part et d'autre par des immeubles de bureaux souvent regroupés en petits zonings. Plusieurs terrains ne sont pas construits et constituent des zones vertes et des aires de jeux.

Contrairement aux autres axes étudiés, aucune habitation n'est située en bordure immédiate du boulevard.

- *Configuration*

A la figure 48 se trouve la carte reprenant le profil en travers et la largeur des voies du boulevard.

La carte indique également les carrefours ayant été catégorisés comme « point noir » par l'étude d'Irissafe [Irissafe 2006].

Il s'agit des carrefours suivants :

- Bvd de la Woluwe – Vandervelde – Paul Hymans
- Bvd de la Woluwe – rue de la Station

Une contre-allée est présente dans toute la première partie du boulevard. Des plateaux sont aménagés à hauteur des écoles.

A partir de l'avenue Hippocrate, il n'y a plus de contre-allée et une piste cyclable est aménagée hors chaussée. Des petites contre-allées sont aménagées ponctuellement afin d'accéder aux zones de bureaux.

- *Usagers faibles*

En semaine, quelques piétons (principalement des promeneurs de la zone verte) circulent le long du boulevard, surtout au carrefour Vandervelde – Hymans en raison du Woluwe Shopping center, de la station de Métro Roodebeek et du nouveau centre culturel Wolubilis. Le weekend, ceux-ci sont beaucoup plus nombreux.

Comme dans le boulevard Charles Quint, des barrières entre l'allée latérale et la voie principale ont récemment été aménagées entre la chaussée de Stockel et l'avenue Hippocrate pour empêcher les traversées piétonnes en dehors des carrefours à feux. Il était auparavant fréquent que des personnes stationnant le long du boulevard traversent pour rejoindre le Shopping. Plusieurs accidents graves, voire mortels, se sont produits ainsi.

La ligne de bus 42 passe dans les allées latérales où se trouvent ses arrêts. De nombreux élèves des Collèges traversent le boulevard pour rejoindre l'arrêt de bus.

Les cyclistes doivent circuler sur l'allée latérale et sont peu nombreux.

- *Stationnement*

Le stationnement est situé sur allée latérale. Les manœuvres de stationnement sont peu fréquentes.

- *Intersection*

Les intersections sont gérées par des carrefours à feux.

Le trafic transversal est important à hauteur de la chaussée de Stockel, de l'avenue Marcel Thiry et l'avenue Vandervelde.

Une traversée piétonne protégée par feux a été réalisée devant le collège Sint Jozefs.

- *Longueur moyenne des sections*

Vers le Ring: 409 m

Vers l'avenue de Tervuren : 357,5 m

- *Signalisation :*



De nombreux signaux C43 - 70 km/h sont placés tout au long du boulevard et des signaux C42 - 50km/h sont quant à eux placés sur l'allée latérale.

De nombreux signaux A23 « attention traversée piétonne » sont tracés au sol et placés sur poteaux à hauteur des différentes traversées.

Une signalisation zone 30 – abords d'école est sur l'allée latérale à hauteur des Collèges

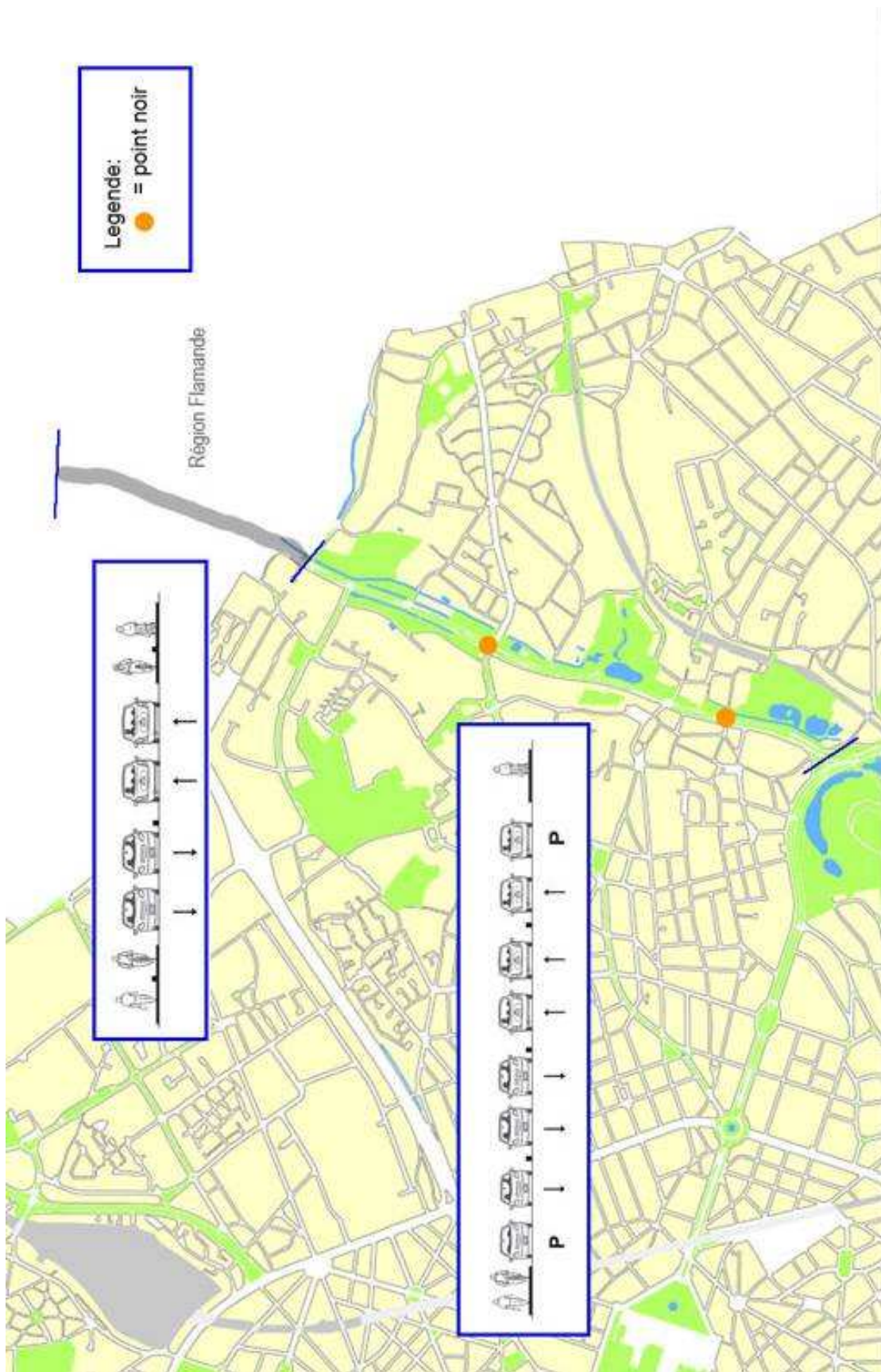


Figure 48 : Carte Boulevard de la Woluwe

5.5. Résultats de l'analyse de risque

Les résultats de cette analyse de risque sont repris dans les tables 17 et 18.

<i>Risques</i>	<i>Carrefours - remontées de files</i>	<i>Accès et sorties, zones d'échange</i>	<i>Géométrie</i>	<i>Visibilité</i>	<i>Longueur des tronçons</i>	<i>Limitation actuelle</i>	<i>Recommandation</i>
Tunnels							
Léopold II (partie centre-ville)						50	*50/70*
Léopold II (partie ring)						50	
Tunnels de la petite ceinture						50	
Tunnels de l'avenue Louise						50	
Loi + Cinquantenaire						70	*50/70*
Tervuren						70	(70)
Reyers-Centre						50	
Reyers-Montgomery Reyers-Meiser						50	
Georges Henri, Montgomery, Boileau						50	
Belliard (partie E40)						50	*50/70*
Belliard (partie centre-ville)						50	
Woluwe						70	(70)
Delta						50	

Table 17 : analyse de risque de la limitation à 70 km/h des tunnels de l'étude

Risques	<i>Carrefours complexes</i>	<i>Manœuvres de stationnement</i>	<i>Usagers faibles</i>	<i>Vie locale</i>	<i>Transports en commun</i>	<i>Absence d'allée latérale</i>	<i>Longueur des sections (< 300 m)</i>	<i>Limitation actuelle</i>	Recommandation
Boulevards									
Avenue Charles Quint								50	
Bvd Général Jacques Bvd Louis Schmidt								50	
Bvd Auguste Reyers, Bvd Brandt Whitlock, Bvd Saint Michel								50	
Bvd Général Wahis Bvd Lambermont, <i>zones avec contre-allées</i>								50	
Bvd Général Wahis Bvd Lambermont, <i>zones sans contre-allées</i>								50	
Bvd de la Woluwe								70	(70)

Table 18 : analyse de risque de la limitation à 70 km/h des axes de l'étude

L'étude de risque révèle que la majeure partie des grands axes et tunnels étudiés doivent rester limités à 50 km/h. Cependant, sous certaines conditions et dans certaines circonstances strictes, certaines limitations pourraient être définies à 70 km/h.

Le boulevard de la Woluwe est actuellement limité à 70 km/h. Sa configuration permet en majeure partie de maintenir cette limitation : il faut toutefois porter une attention particulière aux parcours des usagers faibles le long de cet axe et aux écoles et commerces présents, qui constituent des zones de traversées dangereuses où les usagers faibles sont présents et particulièrement exposés. Plusieurs aménagements ont déjà été réalisés en ce sens, qui devraient être évalués et éventuellement complétés.

Le tunnel Woluwe et le tunnel Tervuren sont deux cas particuliers : ils présentent tous les deux des caractéristiques qui inciteraient à y fixer une limitation à 50 km/h. Mais étant donné que ces tunnels sont courts et qu'ils sont de plus insérés dans des axes où la vitesse est limitée à 70 km/h, il est préférable d'y maintenir une vitesse de 70 km/h tant que ces axes seront limités à 70 km/h. Une limitation à 50 km/h impliquerait une variation rapide et répétée des vitesses sur un axe continu, induisant un risque d'accident non-négligeable.

Le tunnel Loi, le tunnel Cinquantenaire, le tunnel Léopold II et le tunnel Belliard sont des tunnels plus longs, dans lesquels on peut envisager de fixer une limitation de vitesse distincte des axes qu'ils prolongent.

Cependant, les tunnels Léopold II et Belliard ne sont pas homogènes sur toute leur longueur : il importe donc de distinguer différentes parties.

Le tunnel Belliard peut être divisé en deux parties, sur lesquelles deux régimes de vitesse différents pourraient s'appliquer. La première partie, du côté centre-ville, est comprise entre l'entrée du tunnel rue Belliard et le rétrécissement à hauteur du dernier virage avant la sortie. Elle englobe la bifurcation E40 – Cinquantenaire. La deuxième partie, du côté de la E40, débute juste après ce dernier virage et se prolonge jusqu'à la sortie (cfr figure 49).

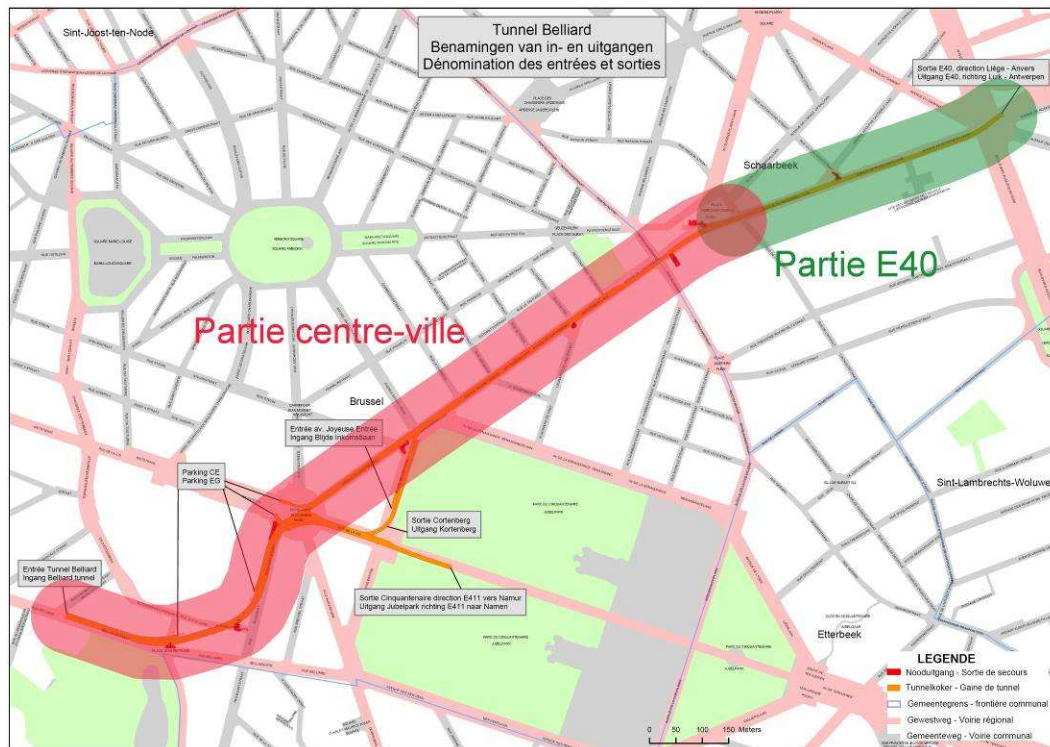


Figure 49 : séparation du tunnel Belliard pour l'application des régimes de vitesse

De même, le tunnel Léopold II peut être divisé en deux parties avec des régimes de vitesse distincts : une première partie, du côté du centre-ville, qui commence à l'accès Yser et se termine au droit des accès Basilique, et une deuxième partie, du côté de la sortie de la ville, qui commence aux accès Basilique, englobe les virages importants du contournement de la Basilique de Koekelberg et se termine aux accès du tunnel du côté de l'avenue Charles Quint (cfr figure 50).

Dans la partie centre-ville du Belliard, des virages importants et des zones d'échange complexes imposent clairement une vitesse limitée à 50 km/h. Il en va de même pour la partie ring du tunnel Léopold II où la présence d'un virage serré avec un risque de remontée de files impose également cette limitation.

Dans les tunnels Loi et Cinquantenaire, dans la partie E40 du tunnel Belliard et la partie centre-ville du Léopold II, par contre, la situation est plus nuancée : on est confronté à une géométrie rectiligne, avec peu ou pas de zones d'échange, une visibilité acceptable et de longs tronçons ininterrompus.

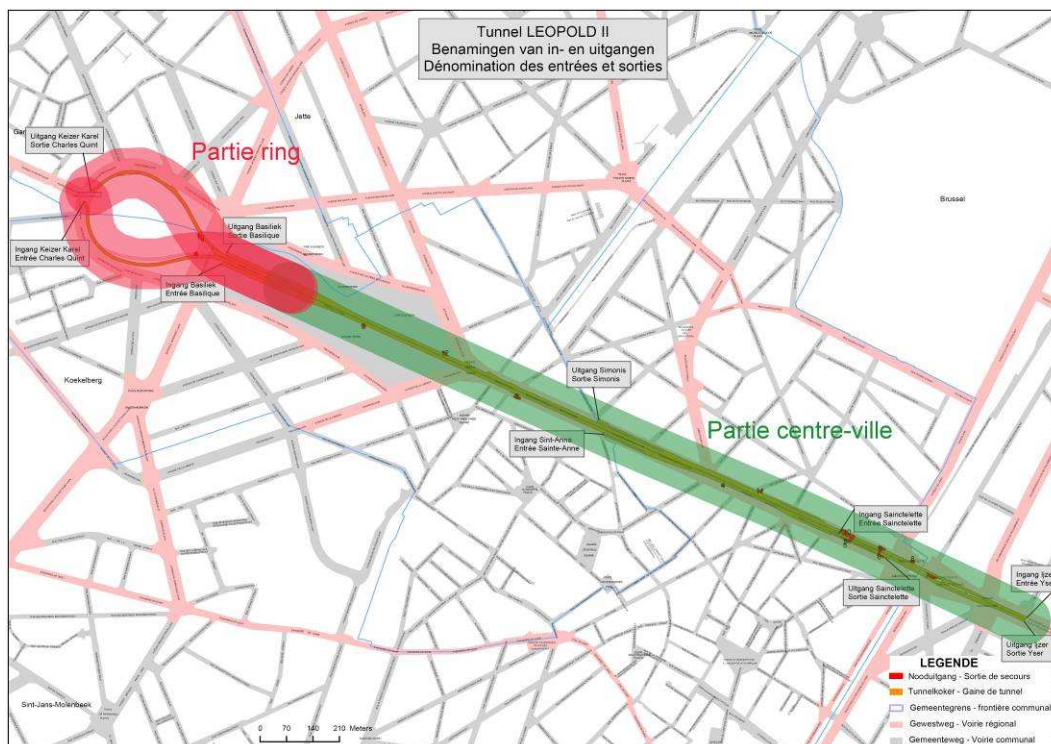


Figure 50 : séparation du tunnel Léopold II pour l'application des régimes de vitesse

A ces endroits, une limitation de vitesse stricte à 50 km/h se justifie dans des circonstances de trafic difficiles (forte densité de circulation, autres conditions défavorables). Par contre, lorsque les conditions sont bonnes, la limitation de vitesse à 50 km/h devient peu compréhensible par les usagers. Uniquement dans de telles circonstances, on pourrait donc envisager de limiter la vitesse à 70 km/h, par le biais de limitations de vitesse variable.

Deux types de gestion devraient être appliqués en parallèle à ce système de limitations variable :

- une modulation de la limitation basée sur un schéma régulier, en fonction de l'heure et du jour de la semaine, des périodes connues de forte ou basse densité de circulation ;
- une modulation réactive en temps réel, qui permettrait de tenir compte immédiatement de circonstances particulières de trafic.

Il y a un aspect supplémentaire à considérer pour la sécurité des tunnels : une directive européenne fixe des normes de sécurité particulièrement exigeantes pour les tunnels faisant partie du réseau routier transeuropéen.

Les tunnels bruxellois ne sont a priori pas concernés par ces exigences. Toutefois, la Région Bruxelles-Capitale a défini un plan d'actions en vue d'atteindre un niveau de sécurité comparable à celui prescrit dans la directive. Ces aménagements sont en cours de réalisation. En attendant la fin des aménagements planifiés et la mise en place des systèmes de gestion des vitesses mentionnés ci-dessus, il nous paraît peu justifié d'augmenter les limitations de vitesse actuellement en place.

6. Stratégies envisageables

La majorité des automobilistes dépasse régulièrement les limitations de vitesses sur la plupart des axes et tunnels étudiés. Ce constat, établi par les mesures que nous avons réalisées, impose de remettre en question ces limites et la manière dont elles sont appliquées.

Dans cette partie, nous considérons trois stratégies envisageables a priori face au problème de vitesse excessive sur les grands axes et dans les tunnels bruxellois. Elles sont indiquées dans l'ordre selon lequel elles ont été envisagées, découlant des relations logiques qui les attachent les unes aux autres. Nous commencerons donc par étudier deux propositions qui doivent être déconseillées pour diverses raisons décrites ci-dessous, avant de développer la stratégie que nous retiendrons.

La première consiste à ne pas intervenir et à accepter la situation actuelle de non-respect généralisé des limitations de vitesse.

Dans la deuxième, nous tentons de généraliser la limitation de vitesse à 70 km/h sur l'ensemble des axes étudiés. Pour vérifier la faisabilité de cette limitation, nous procédons à une analyse de risque sur chaque voirie.

Enfin, la troisième stratégie propose de limiter strictement à 50 km/h les axes et voiries étudiées en mettant en œuvre les moyens nécessaires pour faire respecter ces limites.

Différentes options techniques qui permettraient de réduire le risque sont également envisagées.

6.1. Maintien de la situation actuelle

Un constat relevé par les mesures effectuées dans les tunnels : la vitesse moyenne et la vitesse V85 sont régulièrement supérieures aux limitations de vitesse. Les limitations de vitesse sont mal connues, mal comprises et mal respectées.

La configuration, la signalisation et plus généralement la lisibilité actuelle des voiries et tunnels portent à confusion pour les automobilistes. Un conducteur qui se base sur la vitesse moyenne du flux de trafic pour adapter sa vitesse se trouve, parfois sans le savoir, en infraction. De plus, la perception du risque d'être contrôlé est faible : les usagers ont l'impression de pouvoir rouler impunément au-delà de la limitation.

Pour ceux qui connaissent les limitations et qui souhaitent les respecter, il est souvent particulièrement difficile, inconfortable voire dangereux de rouler à 50 km/h là où cette vitesse est d'application, au vu des vitesses excessives pratiquées par la majorité des conducteurs. Cette situation est également source d'écarts de vitesse entre les véhicules dans le trafic, qui augmentent le risque d'accident.

Cette situation pose différents problèmes :

- *Sécurité*

Une vitesse moyenne élevée entraîne un risque d'accident et une gravité des accidents élevés. Une grande dispersion des vitesses implique également un risque d'accident élevé.

- *Fluidité*

La vitesse moyenne pratiquée actuellement (souvent proche de 70 km/h) est plus élevée que la zone optimale de vitesses qui permettrait de maximiser la capacité des voiries concernées par l'étude. Un exemple de courbe débit-vitesse est représenté à la figure 51, sur laquelle on remarque clairement que les vitesses comprises entre environ 30 et 60 km/h permettent un débit maximal.

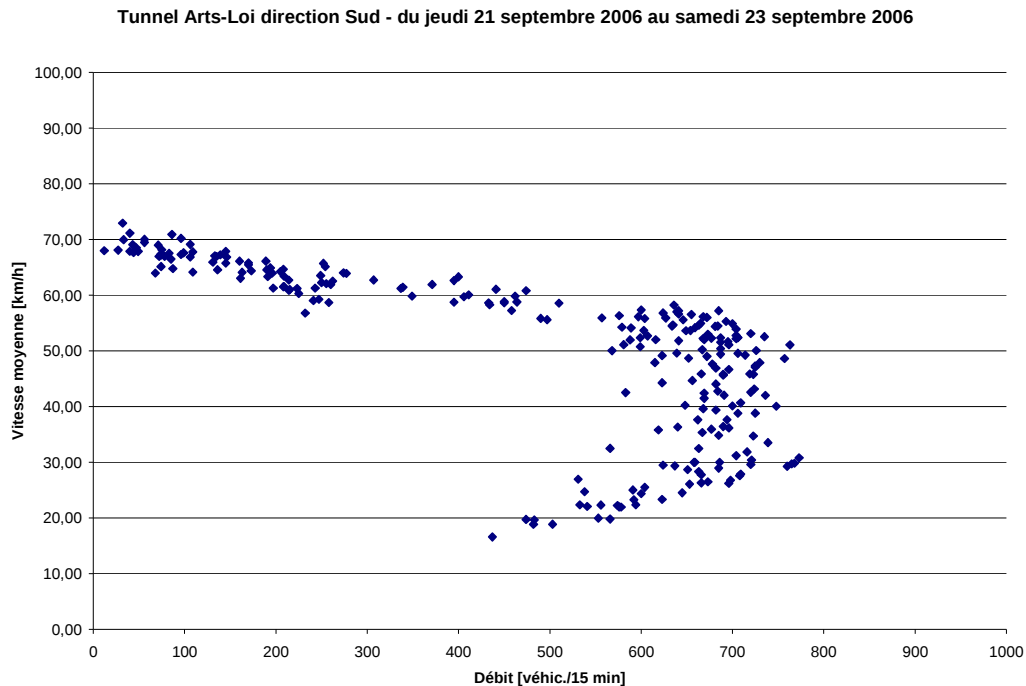


Figure 51 : courbe débit-vitesse dans le tunnel Arts-Loi en direction du Midi, mesures du jeudi 21 au samedi 23 septembre 2006

- *Environnement*

En ce qui concerne l'environnement, la vitesse pratiquée a des impacts sur deux aspects importants : le bruit et la qualité de l'air.

Le bruit routier est directement proportionnel à la vitesse moyenne pratiquée. Dans le cadre d'une étude de l'IBGE, des mesures de bruit ont été réalisées aux abords de plusieurs axes concernés par la présente étude. Ces mesures ont révélé que les seuils légaux de tolérance au bruit en ville étaient régulièrement dépassés. Une des mesures proposées pour réduire le bruit était de respecter les limitations de vitesse en vigueur.

La vitesse est également liée aux émissions de polluants atmosphériques des véhicules. En ville, la pollution atmosphérique due au trafic routier est surtout associée à la congestion : en effet, un véhicule qui circule de manière fluide et continue, avec peu d'arrêts et de démarrages, pollue systématiquement nettement moins que le même véhicule dans des conditions de trafic congestionné (pour un même parcours urbain). De plus, la vitesse pratiquée par les véhicules entre leurs arrêts successifs (entre les différents carrefours, notamment) a également un impact : si la vitesse de la circulation est élevée, un véhicule doit accélérer davantage après chaque arrêt pour se rétablir à la vitesse du flux.

Une vitesse élevée a donc un double impact négatif sur la qualité de l'air : un premier, direct, lié aux accélérations et un second, indirect, dû à une moins bonne fluidité du trafic.

- *Fonctionnalité*

Les fonctions des voiries étudiées sont définies par le Plan Régional de Développement (PRD). Elles sont toutes classées dans la catégorie des voiries métropolitaines, sur lesquelles la fonction principale est une fonction de transit mais où il importe de maintenir une fonction de séjour.

En ce qui concerne la fonction de transit, nous avons vu que la capacité optimale des voiries correspond à des vitesses plus faibles que celles actuellement observées.

De plus, la fonction de séjour est rendue particulièrement difficile à maintenir lorsque la vitesse pratiquée est élevée (bruit, effet de barrière, risque d'accidents,...).

La proposition de ne pas intervenir et de maintenir la situation actuelle est donc inacceptable : le non-respect généralisé des limitations entraîne un risque d'accident élevé et des effets négatifs en termes de fluidité, d'environnement et de fonctionnalité de l'espace public.

Cette stratégie est aussi incohérente : fixer explicitement des limites basses tout en tolérant implicitement des vitesses pratiquées nettement supérieures paraît difficilement justifiable.

6.2. Généralisation des limitations à 70 km/h

Cette proposition vise à rapprocher les limitations des vitesses observées de la vitesse réellement pratiquée, en fixant à 70 km/h la vitesse maximale autorisée.

Une augmentation généralisée des limitations de vitesse implique toujours une hausse encore supérieure des vitesses pratiquées. Pour prévenir ces infractions, la mise en place de mesures d'accompagnement importantes est indispensable :

- information et prévention ;
- aménagement des infrastructures ;
- contrôle et répression.

De telles mesures permettraient de limiter la hausse des vitesses pratiquées en améliorant le respect des nouvelles limitations. Ce respect plus strict permettrait aussi de réduire la dispersion des vitesses, ce qui améliorerait la sécurité.

Toutefois, une augmentation même minime de la vitesse moyenne pratiquée sur un axe aurait des impacts négatifs sur la sécurité, sur la fluidité du trafic, sur l'environnement et sur la fonctionnalité de l'espace public.

Malgré ces aspects négatifs liés à une vitesse élevée, nous avons voulu analyser la demande de fixer à 70 km/h la limitation de vitesse sur les voiries étudiées. Nous avons donc réalisé une étude des facteurs de risque présents, qui est décrite et synthétisée dans la partie 5.

Cette analyse a montré que des limitations à 70 km/h sur les axes étudiés ne pourraient être envisagées qu'avec une extrême prudence et accompagnée de conditions de mise œuvre très importantes.

Dans l'hypothèse où ces conditions seraient réunies, il conviendrait encore de se poser la question de savoir pour quelles raisons on souhaite augmenter la vitesse maximale autorisée sur un axe donné : il n'y a, a priori, aucun avantage direct lié à une augmentation de la vitesse pratiquée.

En conclusion, des limitations de vitesse fixées à 70 km/h sur les voiries étudiées n'apporteraient globalement que des effets négatifs, du point de vue de la sécurité surtout, mais aussi de la fluidité du trafic, de la qualité de l'environnement et de la fonctionnalité de l'espace public.

Il n'est tout simplement pas envisageable de fixer la limitation à 70 km/h sur la plupart des boulevards et des tunnels. Là où cela serait possible, il faudrait encore accompagner ces limitations de mesures de sécurité et de systèmes de gestion des vitesses particulièrement exigeants et contraignants.

6.3. Généralisation des limitations à 50 km/h

Cette stratégie reprend l'esprit de la norme actuelle : en agglomération, la vitesse est limitée à 50 km/h sauf exceptions dûment justifiées.

La pratique généralisée d'une vitesse réduite à 50 km/h amènerait de nombreux avantages par rapport à la situation anarchique actuelle. (Ces avantages sont synthétisés à la table 19.)

Une réduction de la vitesse pratiquée impliquerait une amélioration de la sécurité, avec une baisse systématique du nombre d'accidents et une baisse de la gravité des accidents.

Une vitesse pratiquée proche de 50 km/h permettrait de tendre vers une optimisation de la capacité des voiries et donc vers une amélioration de la fluidité.

Cet effet positif aurait de plus un impact indirect sur l'émission de polluants atmosphériques. La réduction de la vitesse impliquerait aussi une diminution des accélérations, ce qui réduirait également la pollution de l'air. Une baisse de vitesse induirait aussi une diminution notable du niveau sonore.

Finalement, le respect de limitations à 50 km/h permettrait d'améliorer à la fois les fonctions de transit et de séjour sur les axes étudiés.

Table 19 : effets d'une réduction de la vitesse moyenne pratiquée de 70 à 50 km/h

REDUCTION DE LA VITESSE MOYENNE PRATIQUEE DE 70 A 50 KM/H	
Sécurité	Amélioration de la sécurité
	Gravité des accidents : $\searrow$ 50 % de l'énergie à l'impact $\rightarrow$ $\searrow$ gravité des accidents
	Risque d'accident : $\searrow$ 57% du risque d'accident corporel $\rightarrow$ $\searrow$ nombre d'accidents
Fluidité	Amélioration de la fluidité
	Capacité des voiries : Obtention de la capacité maximale entre 30 et 60 km/h
	Impact des incidents : $\searrow$ nombre d'accidents $\rightarrow$ $\nearrow$ fluidité
Environnement	Amélioration de la qualité de l'air et réduction du bruit routier
	Bruit : $\searrow$ 5 dB = diminution de plus de la moitié du niveau sonore
	Air : Fluidité du trafic = critère prépondérant pour la qualité de l'air en ville $\rightarrow$ $\nearrow$ qualité de l'air <i>Effet de la fluidité du trafic :</i> $\nearrow$ fluidité $\rightarrow$ $\nearrow$ qualité de l'air <i>Effet des accélérations :</i> $\searrow$ accélérations $\rightarrow$ $\nearrow$ qualité de l'air <i>Effet de la vitesse :</i> $\nearrow$ consommation de carburant (minimale à 60...70 km/h) $\rightarrow$ $\searrow$ qualité de l'air
Fonctionnalité de l'espace public	Renforcement de la fonctionnalité des grands axes
	Fonction de transit : $\nearrow$ fluidité $\rightarrow$ $\nearrow$ fonction de transit
	Fonction de séjour : $\searrow$ niveau de bruit, $\searrow$ effet barrière $\rightarrow$ $\nearrow$ fonction de séjour

- *Respect de la règle et mesures d'accompagnement*

Le nœud central de la problématique des vitesses en région bruxelloise se situe clairement au niveau du respect des limitations en vigueur.

Pour favoriser un meilleur respect des règles, il faut veiller à ce que les limitations de vitesse soient connues des conducteurs et qu'elles apparaissent comme justifiées. Enfin, en cas de non respect de ces limitations, le conducteur doit être sanctionné.

Pour ce faire, différents outils et mesures d'accompagnement doivent être mis en œuvre.

- Infrastructure : l'aménagement de voirie doit être adapté pour rendre la limitation de vitesse crédible et acceptable. La réduction des largeurs de bandes de circulation dans les tunnels par la création de bandes vibrantes latérales permettra de diminuer les vitesses pratiquées. Pour les boulevards, à plus long terme, l'image des voiries devrait être modifiée et homogénéisée en fonction de leur hiérarchisation.
- Communication – sensibilisation : il importe également d'utiliser des outils de communication performants pour faire connaître la règle générale et ses exceptions, les avantages que le respect de la norme procure à chacun des usagers (gain de sécurité, de temps et de qualité de vie) et les risques existants en cas de non-respect des limitations (facteurs de risque et d'accident, « tarif » des sanctions,...).
- Contrôle – répression : une politique ferme et constante de répression des infractions doit faire disparaître tout sentiment d'impunité associé aux excès de vitesse. Les raisons en sont simples : une règle non appliquée ne sert à rien et tous les avantages de la limitation de vitesse à 50 km/h disparaissent si cette limite n'est pas respectée.

Pour atteindre ce résultat, une présence élargie de boîtiers associés à des radars automatiques semble être une solution intéressante. Cette mesure a fait ses preuves à plusieurs reprises. L'idéal est de couvrir l'ensemble des voiries, puisque les limitations doivent être appliquées partout, mais les zones reconnues comme dangereuses doivent être équipées prioritairement. Il importe également d'assurer un suivi systématique et rigoureux des infractions relevées, menant à des sanctions adaptées.

- *Limitations de vitesse d'exception à 70 km/h et cohérence des limitations*

Nous avons vu dans la stratégie précédente que les limitations à 70 km/h se justifient dans certaines circonstances. Ces limitations paraissent admissibles sur base de l'analyse objective des risques, du point de vue de la sécurité. Toutefois, il est important de garder à l'esprit qu'une vitesse élevée entraîne toujours des effets négatifs pour la fluidité du trafic, pour l'environnement et pour la fonctionnalité des espaces publics.

Ces exceptions au régime général de limitation à 50 km/h en milieu urbain paraissent peu justifiables dans une optique de gestion durable de la ville. Il nous semble donc que ces limitations à 70 km/h, en milieu urbain, doivent être considérées comme des outils stratégiques, des situations transitoires à long terme, pour répondre à la lente évolution des mentalités et des comportements. Elles doivent permettre d'introduire, lentement mais sûrement, un meilleur respect général de limitations de vitesse. Elles doivent s'accompagner d'aménagements systématiques de toutes les voiries

amenant à un meilleur respect de la norme par une meilleure cohérence de l'image de la voirie avec la limitation qui y est appliquée.

En conclusion, nous recommandons l'application stricte du principe général suivant : en agglomération, la vitesse est limitée à 50 km/h sauf lorsqu'une vitesse maximale exceptionnelle de 70 km/h est justifiable. Ces exceptions ne seraient toutefois acceptables que comme mesures transitoires permettant l'instauration d'un meilleur respect des limitations, en attendant la mise en application des mesures d'accompagnement nécessaires pour une réduction des vitesses pratiquées.

En vue de faire évoluer les comportements des usagers vers un respect strict de ce principe général, des mesures importantes doivent être prises au niveau de la sensibilisation, de la prévention, de la répression et de l'aménagement des voiries. Il importe, particulièrement, de faire apparaître dans l'image générale de la voirie la cohérence avec la limitation de vitesse qui y est d'application. Ces investissements à long terme se justifient amplement par les gains majeurs pour la collectivité qu'amènerait une réduction des vitesses pratiquées.

6.4. Options techniques en vue d'une meilleure gestion des vitesses

Certains aménagements techniques semblent particulièrement prometteurs en vue d'obtenir une réduction à long terme des risques d'accidents dans les tunnels et sur les grands axes de la Région Bruxelles-Capitale. Ils sont nécessaires pour mettre en œuvre certaines recommandations de cette étude.

- *Détection automatique des incidents et aide à la gestion de crise*

Un système de détection automatique des incidents permet, sur base d'images de vidéosurveillance, de détecter tout événement inhabituel survenant sur la voirie. Il permet de réduire fortement le risque de suraccident.

Ce système repère les incidents, avertit l'opérateur et lui propose un scénario à mettre en œuvre en fonction du type d'incident.

Un tel système requiert l'installation d'un réseau complet de caméras de vidéosurveillance, d'un central de contrôle et de gestion des crises et d'infrastructures de réaction. Les équipements de réaction peuvent, par exemple, inclure des panneaux à message variable pour l'information des usagers, d'autres panneaux de signalisation variable (vitesses, accès aux bandes de circulation, etc.), des barrières automatiques de fermetures de voies, des voies de contact direct avec les équipes de sécurité et d'intervention,... Les procédures doivent être établies méticuleusement, en collaboration avec les différents intervenants.

La détection automatique des incidents et une signalisation complémentaire d'information des usagers paraissent absolument nécessaires dans les tunnels où la limitation de vitesse est fixée à 70 km/h, en vue de limiter le risque de suraccident.

- *Limitations de vitesses variables en fonction du contexte de circulation*

Une possibilité envisageable qui doit être associée à un système de détection automatique des incidents, est la mise en place de limitations de vitesse variables.

Les limitations de vitesses peuvent varier automatiquement sur base des périodes observées d'heures creuses ou d'heures de pointe, ainsi que de manière instantanée et réactive suite à un incident.

Les vitesses maximales sont donc définies et annoncées a priori mais varieront uniquement à la baisse, dans des circonstances de trafic délicates : forte densité de circulation, incident sur la voirie, conditions atmosphériques défavorables, événement exceptionnel,...

En pratique, ces limitations sont matérialisées par des panneaux de type C43 à affichage variable. D'autres panneaux textuels peuvent compléter l'affichage de la vitesse maximale pour, par exemple, annoncer aux conducteurs la raison de la réduction de la limitation.

Ces options techniques semblent prometteuses pour améliorer la gestion des vitesses sur les grands axes bruxellois. Il serait intéressant de réaliser des études approfondies d'applicabilité et de mise en œuvre de ces solutions.

Elles permettraient d'augmenter le niveau de sécurité dans les tunnels et sur les grands axes. Elles offrent également une large flexibilité dans la gestion de la vitesse et des risques associés ainsi que de nombreuses possibilités d'adaptation pour l'avenir.

7. Conclusions

Nous recommandons la mise en œuvre progressive mais volontariste de la stratégie reprise dans la partie 6.3. Il s'agit, à long terme, de généraliser les limitations à 50 km/h dans l'agglomération.

Dans un premier temps, des exceptions à cette règle générale peuvent être acceptées sous la forme de limitations à 70 km/h telles que décrites dans la partie 6.2 aux endroits où l'étude de risques a montré que c'était possible. Ces exceptions doivent toutefois s'accompagner de conditions de sécurité particulièrement exigeantes (système de détection automatique des incidents, limitations de vitesse variables, contrôle accentué des infractions,...).

Le défi majeur de cette stratégie consiste à faire connaître, comprendre et respecter la règle générale de limitation à 50 km/h sur les axes étudiés. A cet effet, plusieurs mesures doivent être prises simultanément : des mesures d'information et de sensibilisation, des mesures d'aménagements des infrastructures (pour une meilleure cohérence entre l'image de la voirie et la limitation imposée) et des mesures de répression ferme et constante des infractions.

8. Bibliographie

- [1] *Directive 2004/54/CE du Parlement Européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant les exigences de sécurité minimale applicables aux tunnels du réseau routier transeuropéen*
- [2] CERTU, *Connaître la vitesse pour agir sur la sécurité de la circulation en agglomération*, Lyon (France), avril 2003
- [3] CERTU, *Sections 70 en agglomération – guide de conception et de recommandations*, Lyon (France), 1996
- [4] CERTU, *Régulation des vitesses sur voies rapides urbaines. Une synthèse des expérimentations*, France, 1999.
- [5] CETUR, *Instructions sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines*, Bagneux (France), 1990
- [6] CETUR, *Réduire la vitesse en agglomération*, Bagneux (France), 1989
- [7] Cohen et al., *Limitations de vitesse – les décisions publiques et leurs effets*, Ed. Hermes, Paris (France), 1998
- [8] Commissariat général du plan, Boiteux et al., *Transports : choix des investissements et coût des nuisances*, Paris (France), juin 2001
- [9] CROW, Publicatie 164b, *Handboek Wegontwerp – Stroomwegen*, Ede (Pays-Bas), février 2002
- [10] De Brabander & Vereeck, *Valuing the prevention of road accidents in Belgium*, s.l., 2007 (à paraître)
- [11] Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR), *New directions in speed management – a review of policy*, London (UK), mars 2000

- [12] Federal Highway Administration, Gartner, Messer & Rathi, *Monograph on Traffic Flow Theory*, Washington D.C. (USA), 1997
- [13] IBGE, *Vademecum du bruit routier urbain*, s.l.n.d.
- [14] IBGE, *Air Bruxellois et Transport*, mars 2006.
- [15] IBSR, Département Recherche et Conseil, *Politique criminelle en matière de vitesse*, Bruxelles (Belgique), 1999
- [16] IBSR, Département Mobilité et Infrastructures, *Dimensionnement de voirie, formation à destination de la Région Bruxelles-Capitale*, s.l., 2005
- [17] IBSR, Accidents du week-end, toujours plus d'une victime, Bruxelles (Belgique), 2006
- [18] Irissafe, Gevaarlijke punten, Methodologie, analyse en voorstel van oplossingen, Bruxelles, 2006
- [19] OCDE, *La gestion de la vitesse*, s.l., 2007
- [20] PIARC, *Géométrie de la section transversale des tunnels routiers à circulation unidirectionnelle*, s.l., 2001
- [21] RDC- Stratec, Etude comparative analysant les impacts environnementaux de différents styles de conduite en voiture en situation réelle et sur un parcours typique de la Région de Bruxelles-Capitale, juin 2005
- [22] SETRA-CETUR, Sécurité des routes et des rues, France, 1992.
- [23] TRL, Report TRL511, *The relationship between speed and accidents of rural single-carriageway roads*, s.l., 2002
- [24] VTI, meddelande 951A, *Traffic safety measures and observance*, Linköping (Suède), 2004

9. Annexes

9.1. Graphiques de débit et vitesse

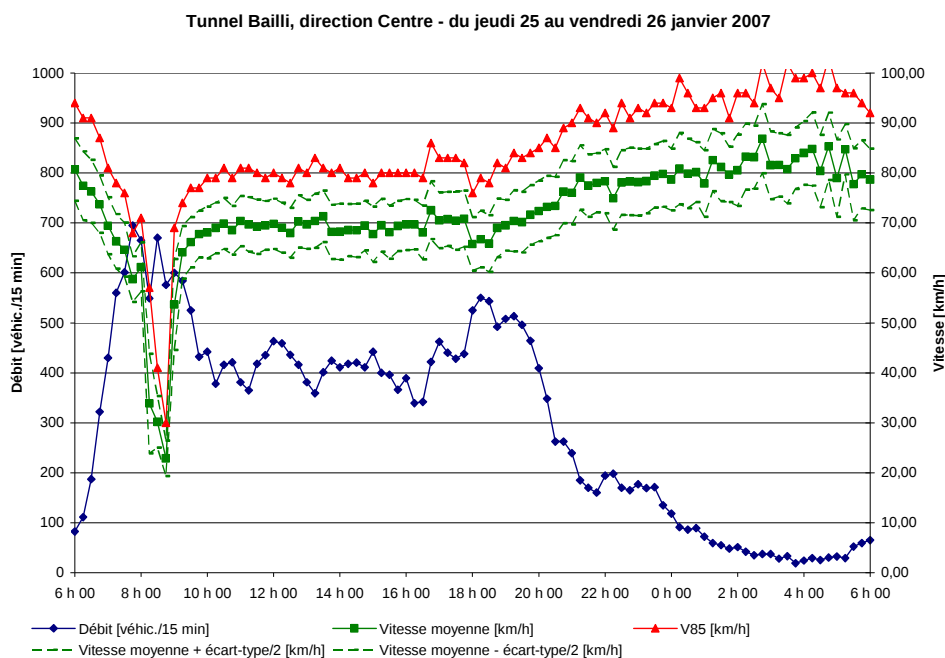


Figure 52 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Bailli, direction Centre – 25-26/09/2007

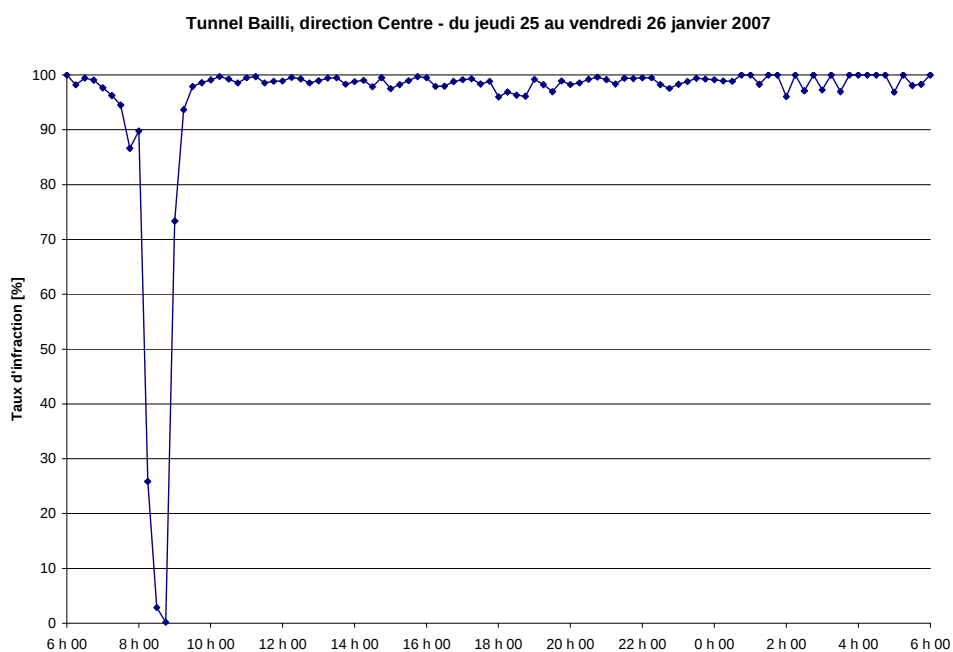


Figure 53 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Bailli, direction Centre – 25-26/09/2007

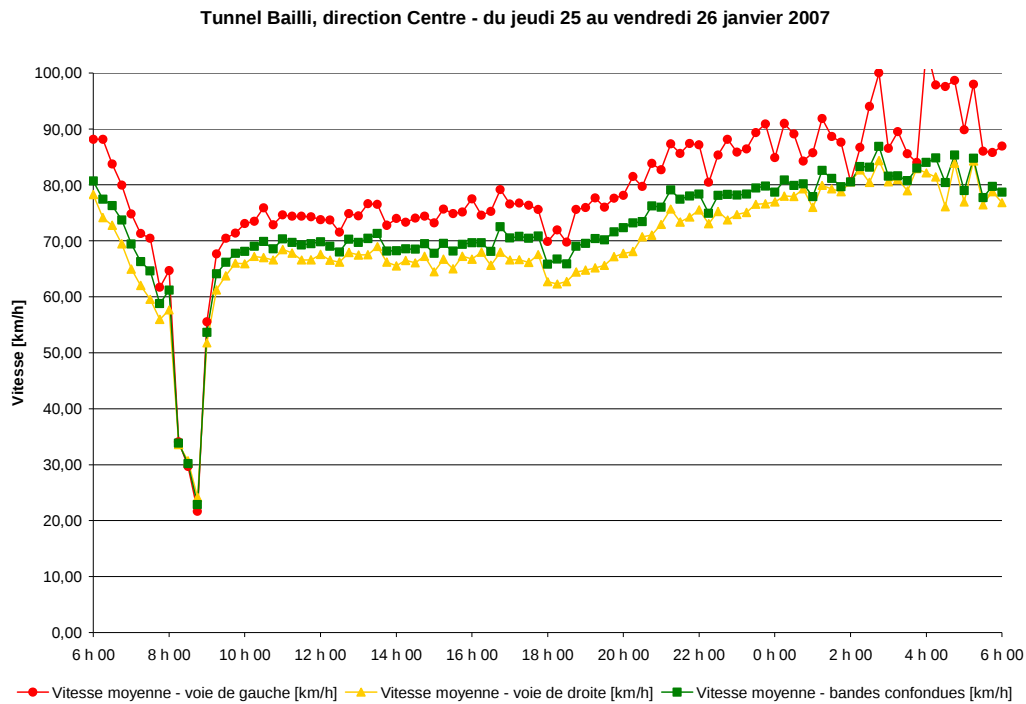


Figure 54 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Bailli, direction Centre – 25-26/09/2007

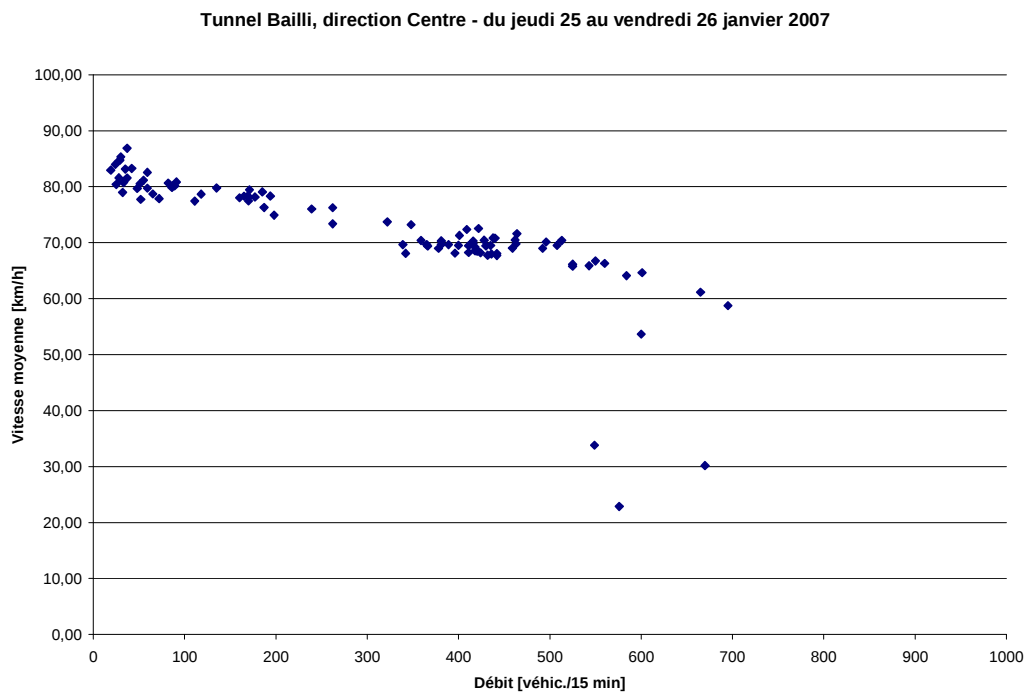


Figure 55 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Bailli, direction Centre – 25-26/09/2007

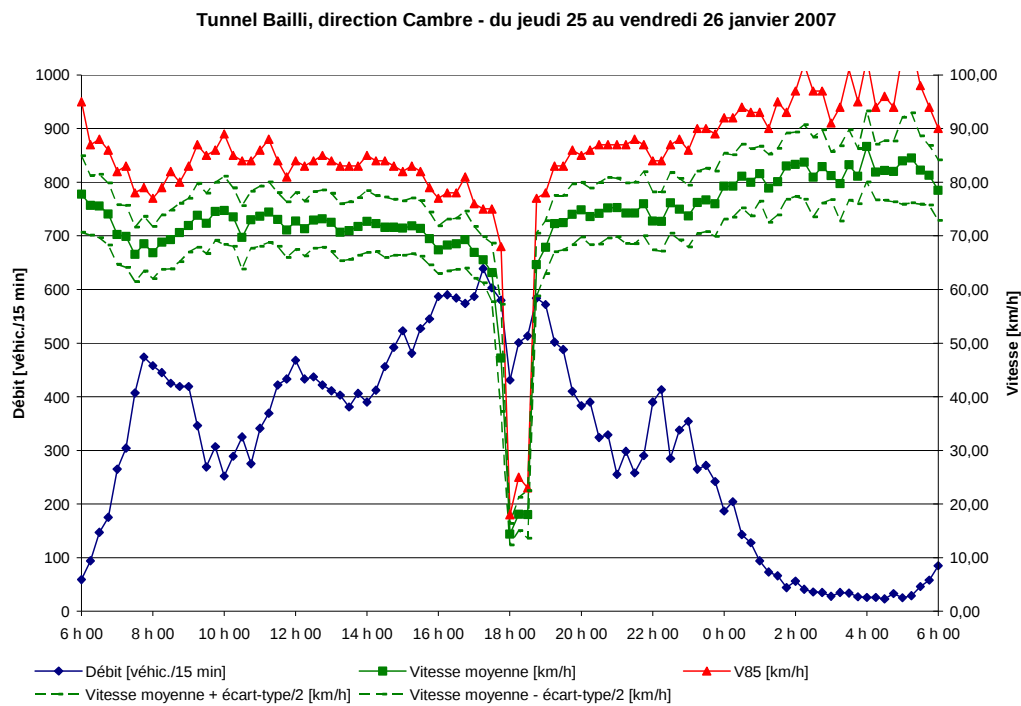


Figure 56 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Bailli, direction Cambre – 25-26/09/2007

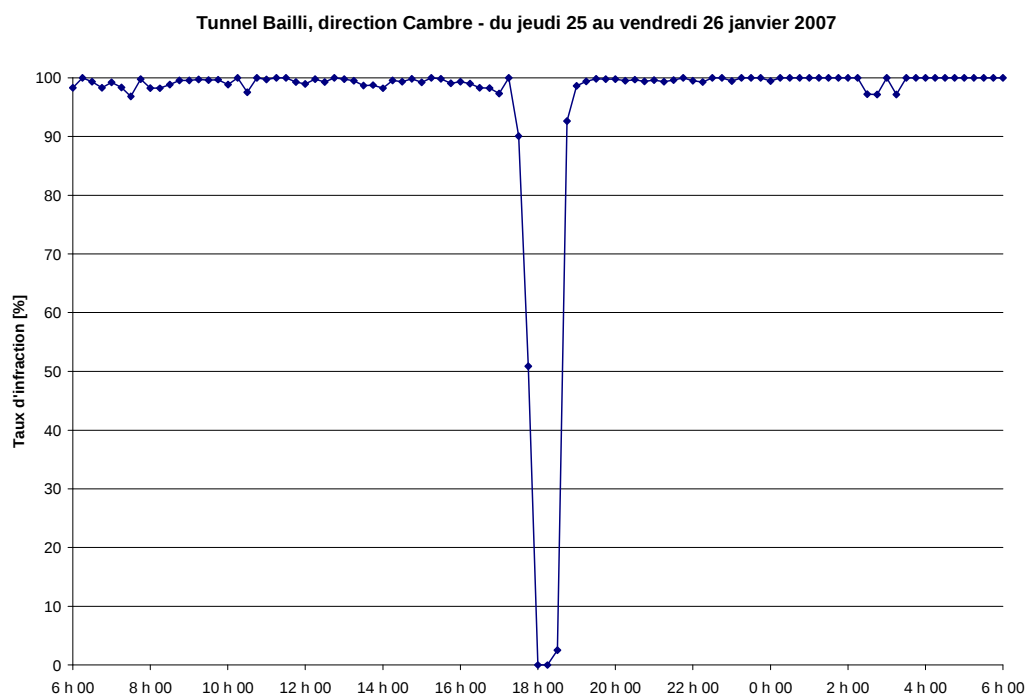


Figure 57 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Bailli, direction Cambre – 25-26/09/2007

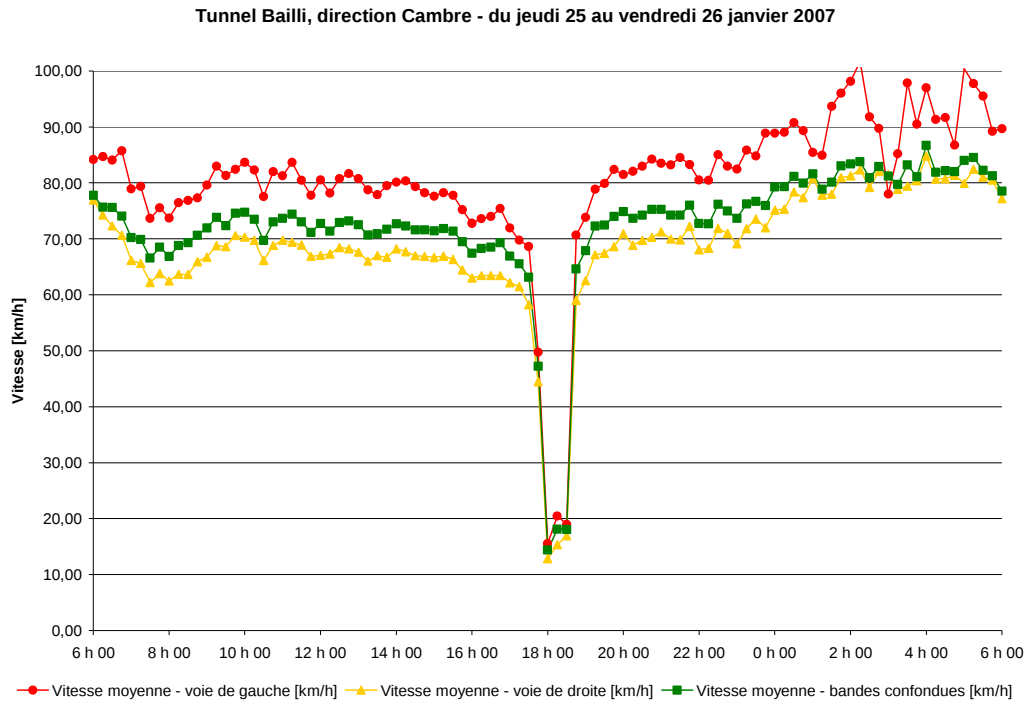


Figure 58 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Bailli, direction Cambre – 25-26/09/2007

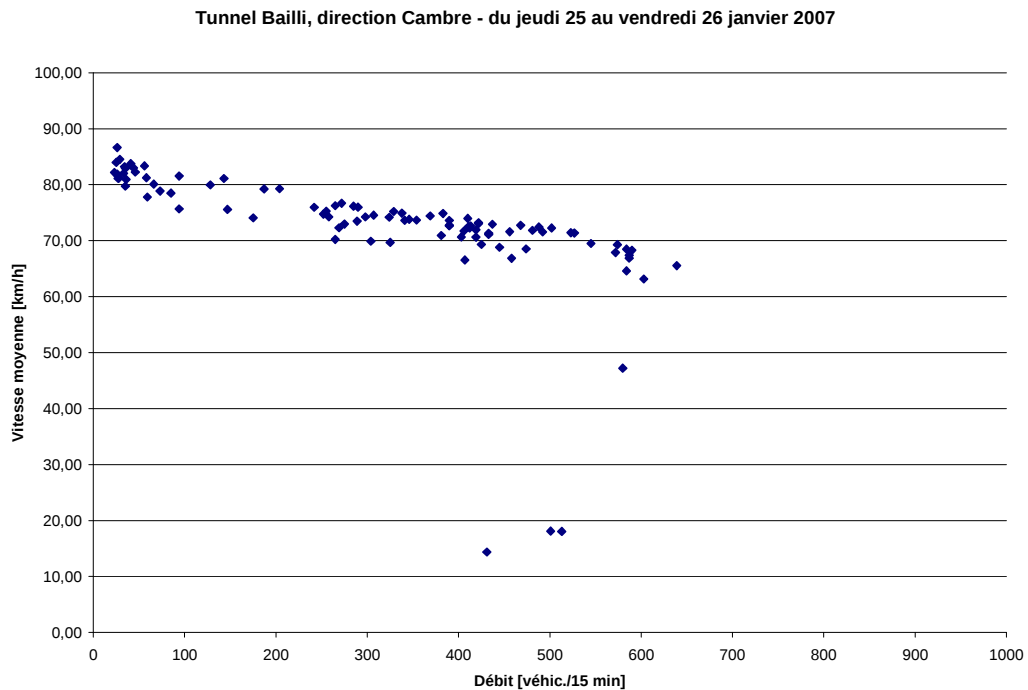


Figure 59 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Bailli, direction Cambre – 25-26/09/2007

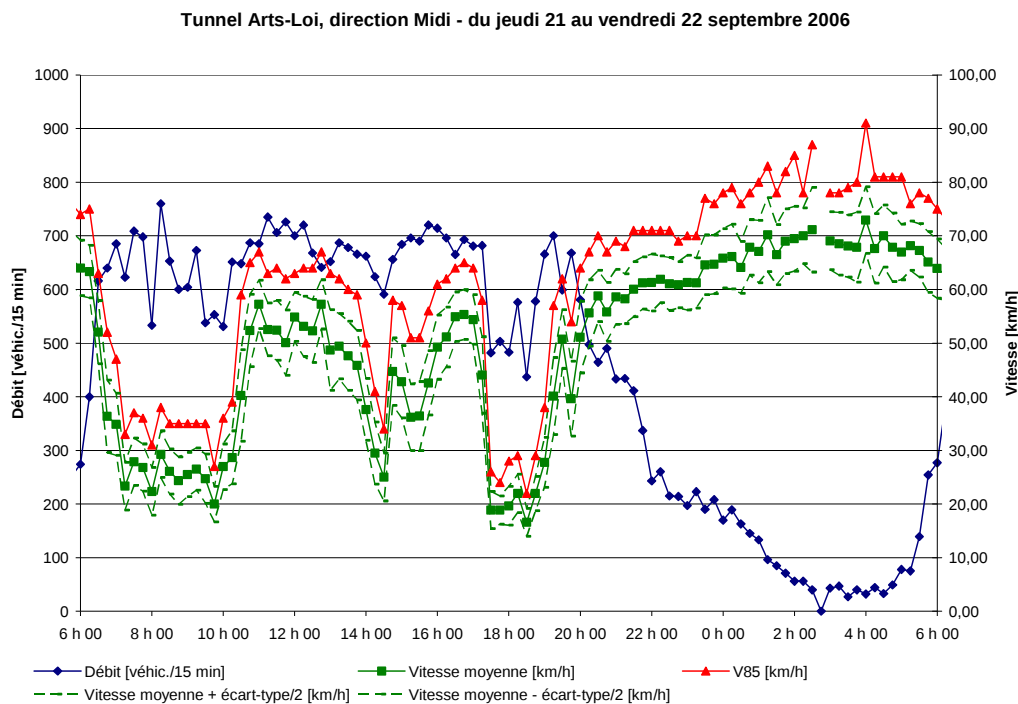


Figure 60 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Arts-Loi, direction Midi – 21-22/09/2006

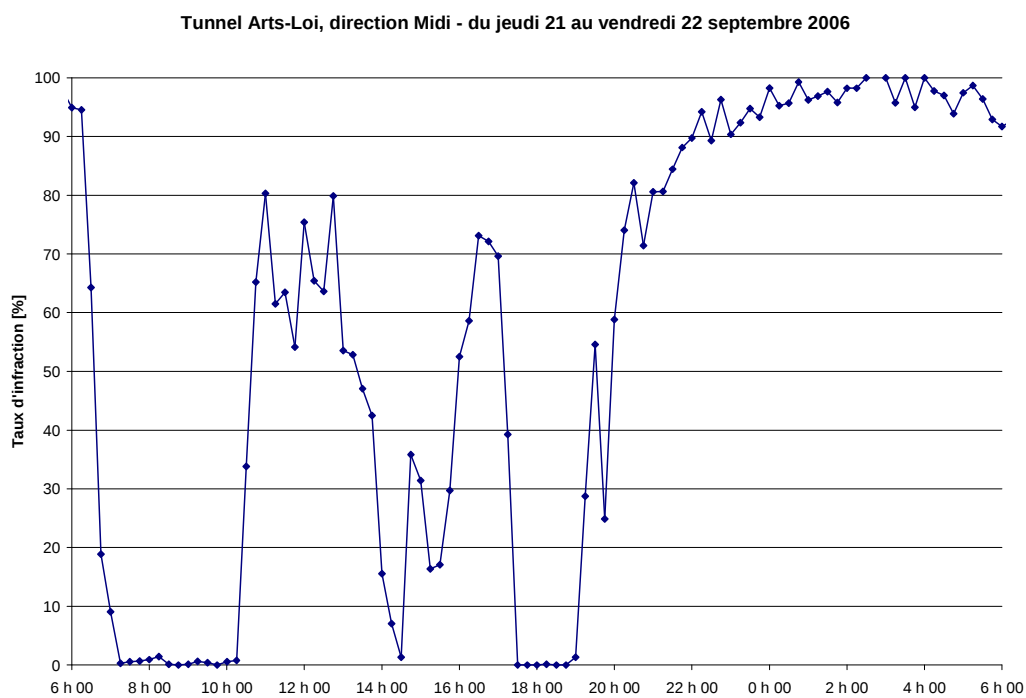


Figure 61 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Arts-Loi, direction Midi – 21-22/09/2006

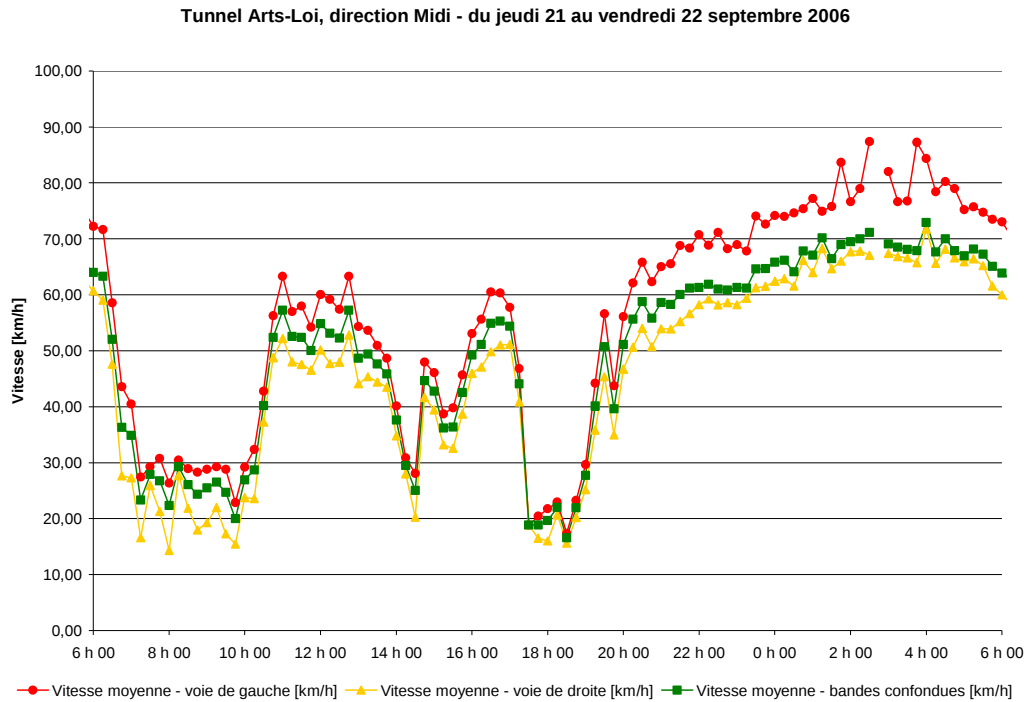


Figure 62 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Arts-Loi, direction Midi – 21-22/09/2006

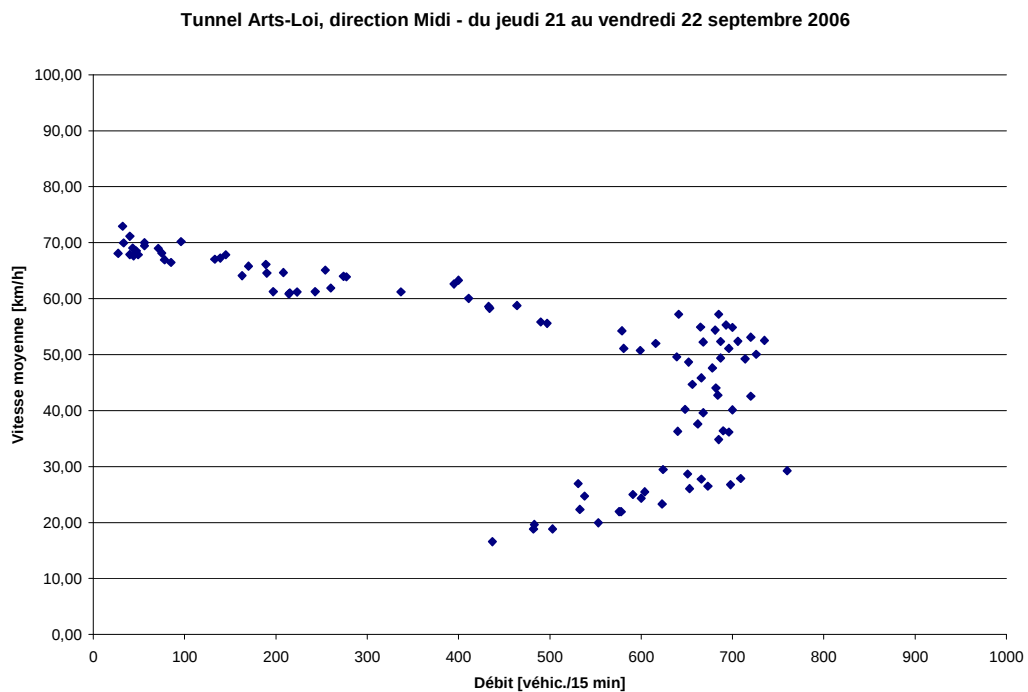


Figure 63 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Arts-Loi, direction Midi – 21-22/09/2006

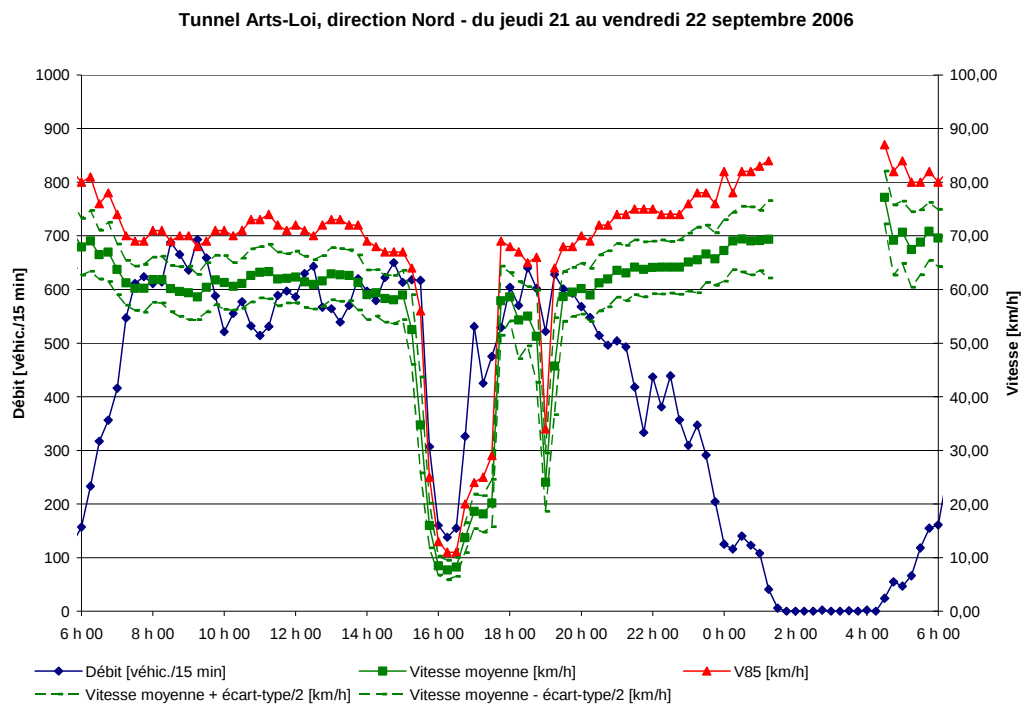


Figure 64 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Arts-Loi, direction Nord – 21-22/09/2006

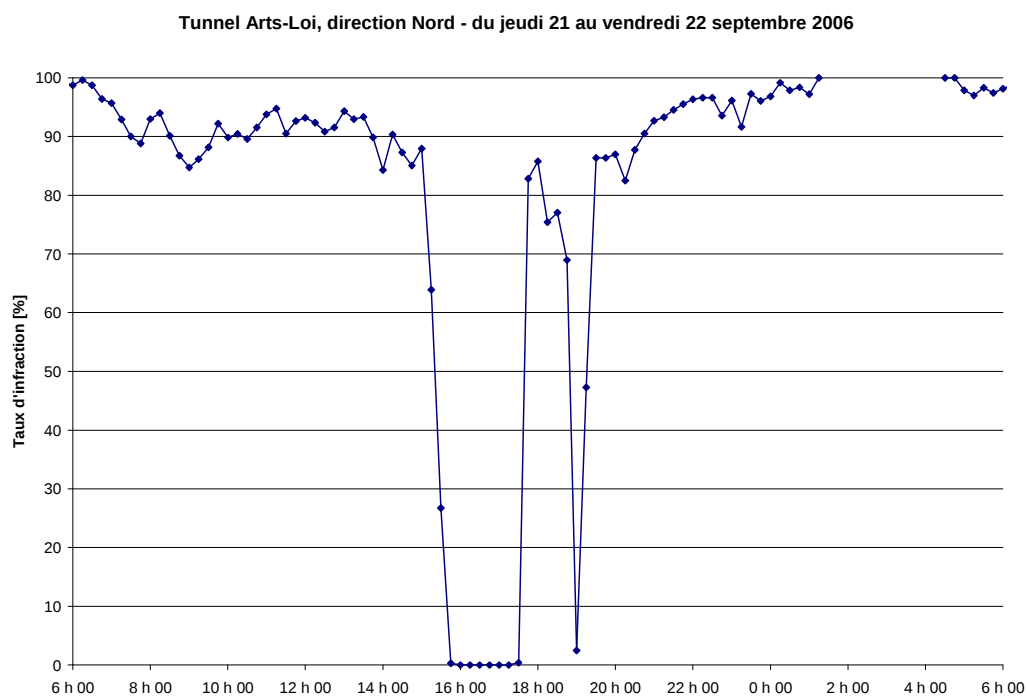


Figure 65 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Arts-Loi, direction Nord – 21-22/09/2006

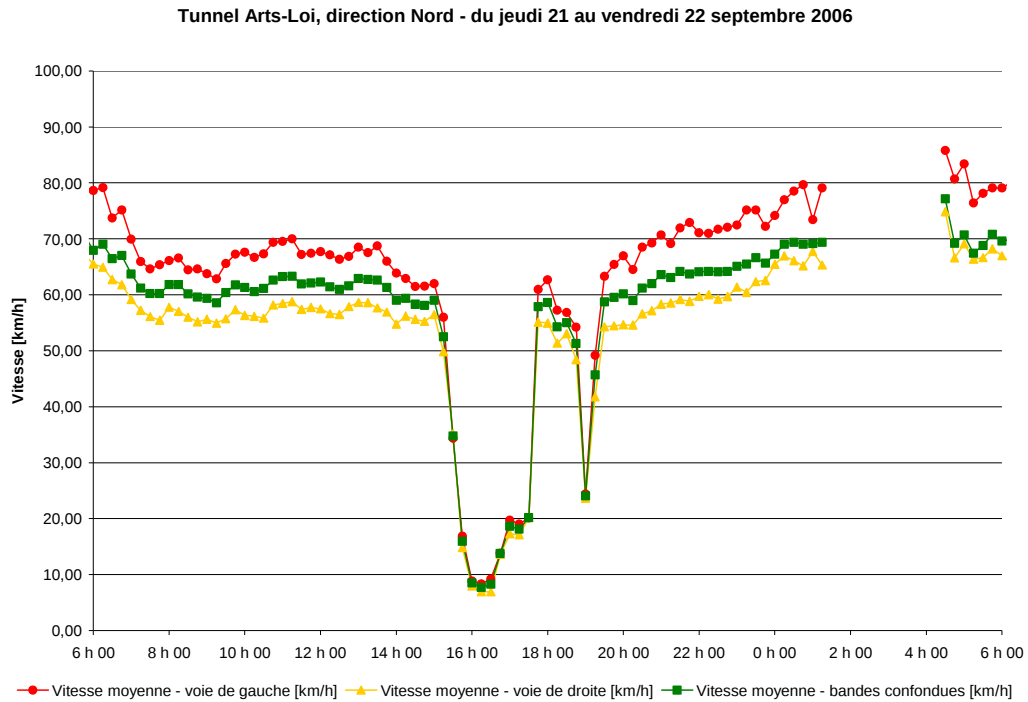


Figure 66 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Arts-Loi, direction Nord – 21-22/09/2006

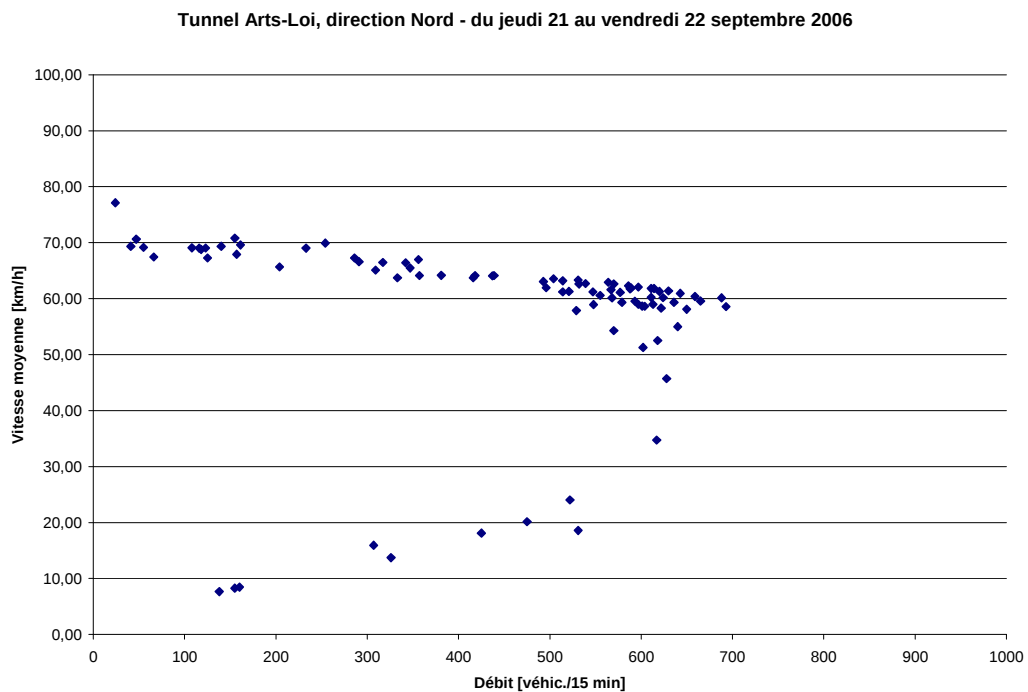


Figure 67 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Arts-Loi, direction Nord – 21-22/09/2006

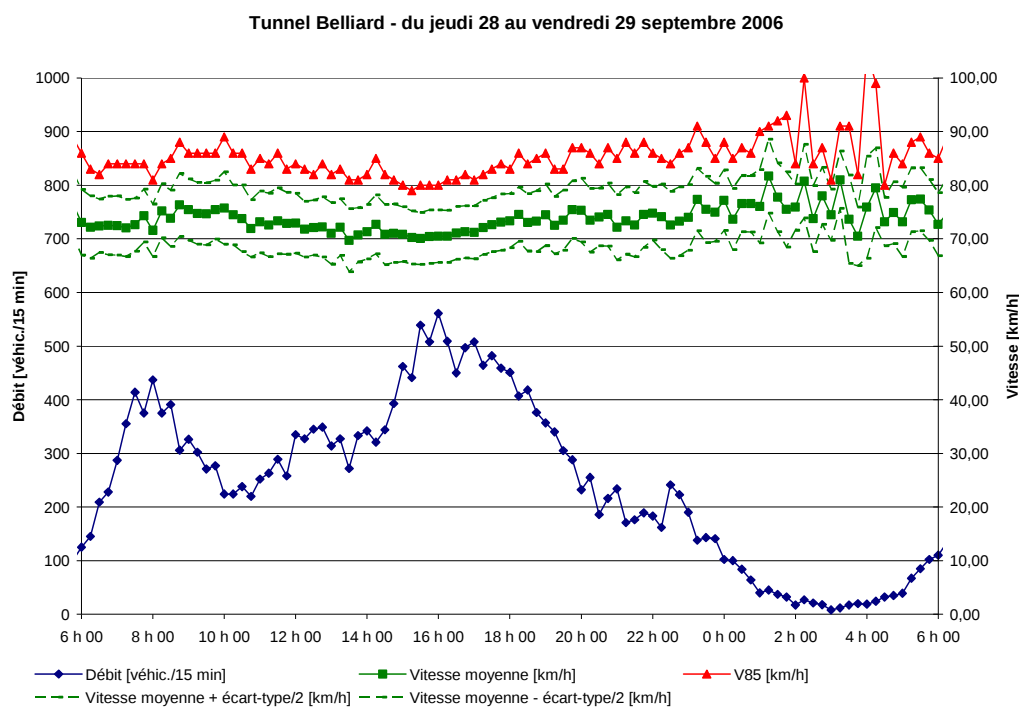


Figure 68 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Belliard – 28-29/09/2006

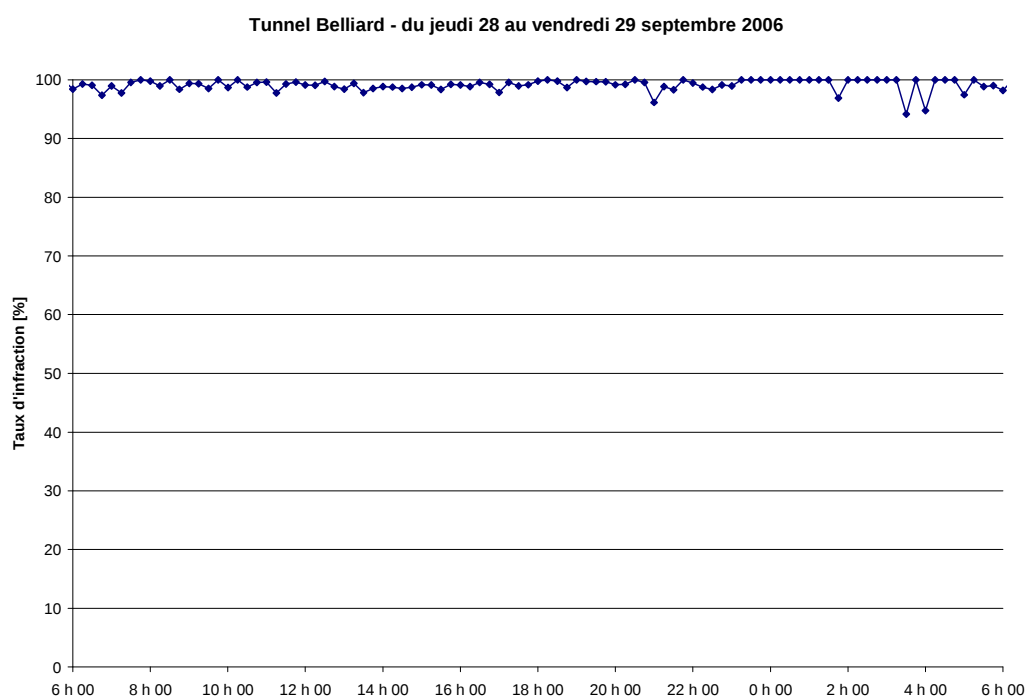


Figure 69 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Belliard – 28-29/09/2006

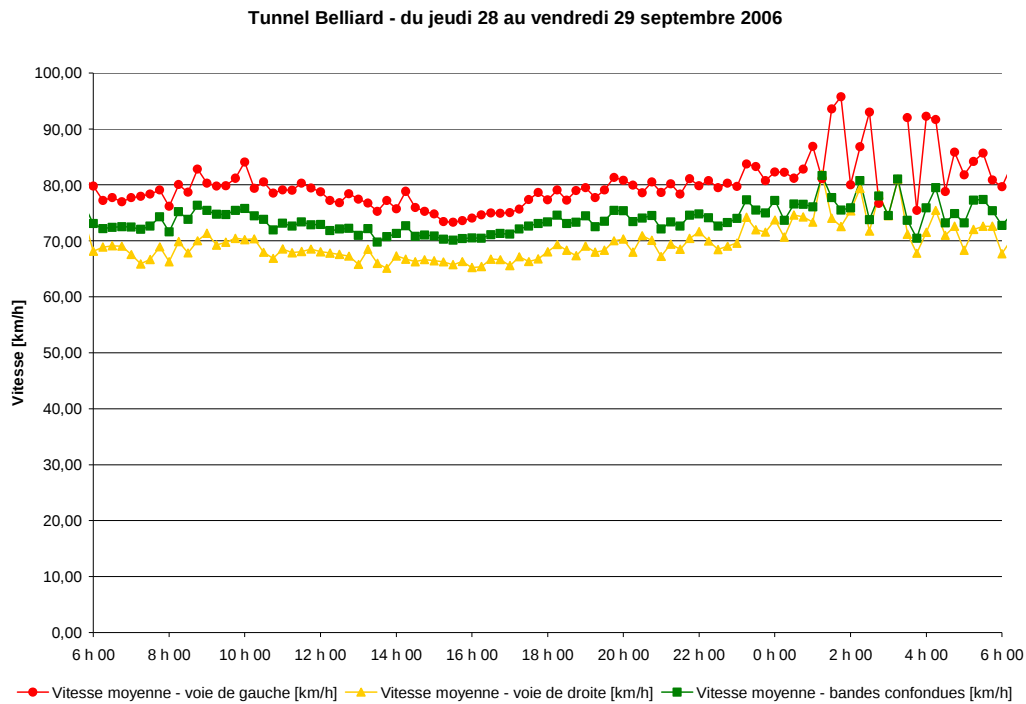


Figure 70 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Belliard – 28-29/09/2006

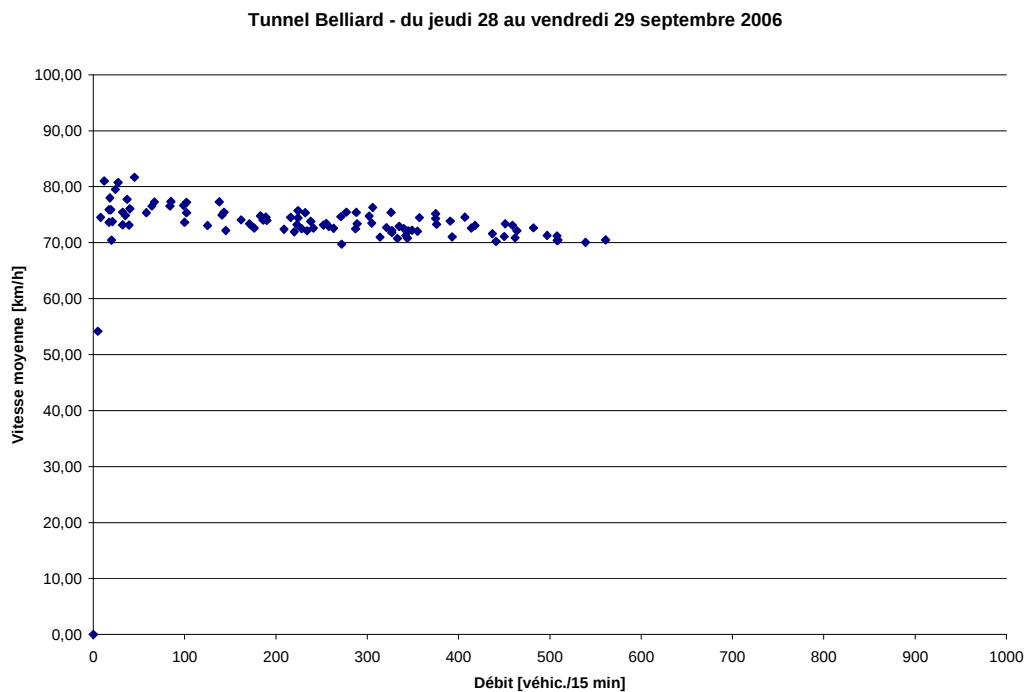


Figure 71 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Belliard – 28-29/09/2006

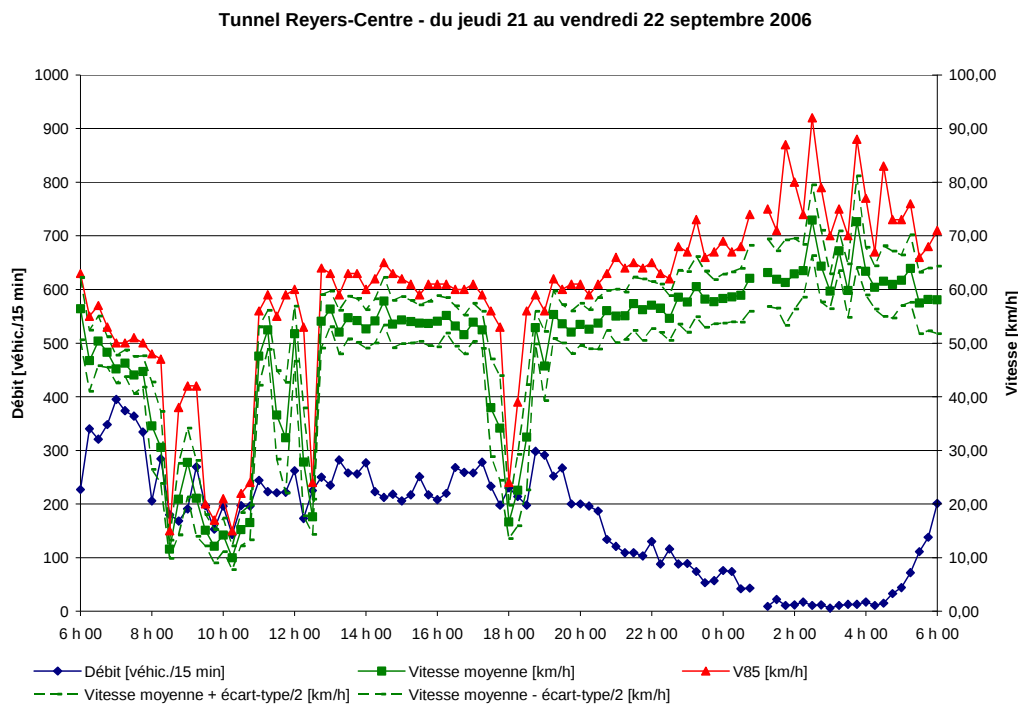


Figure 72 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Reyers – 21-22/09/2006

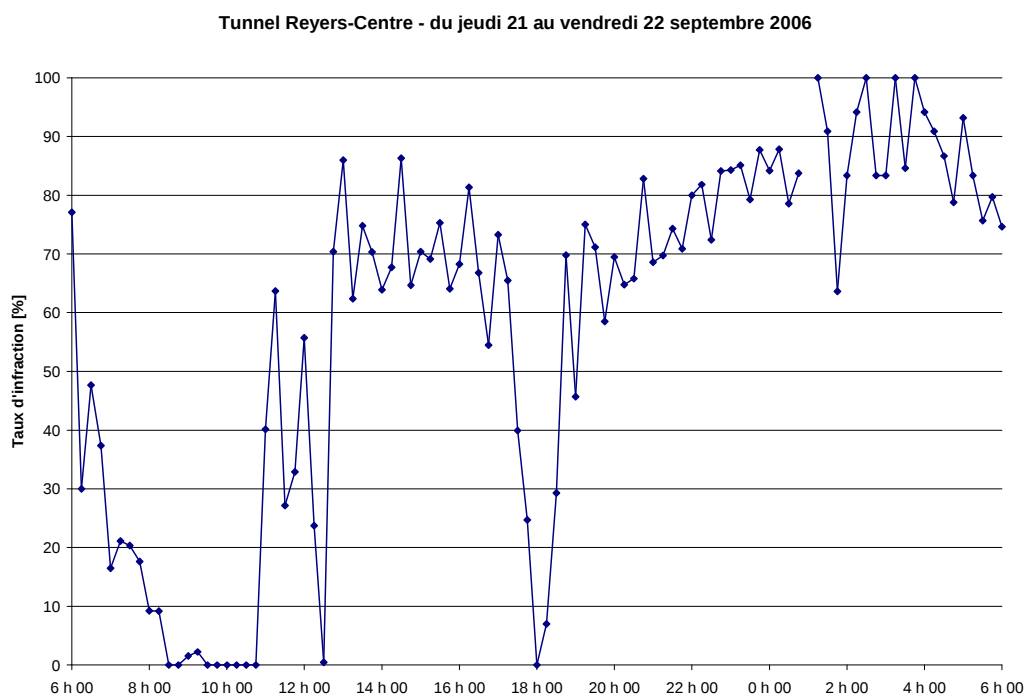


Figure 73 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Reyers – 21-22/09/2006

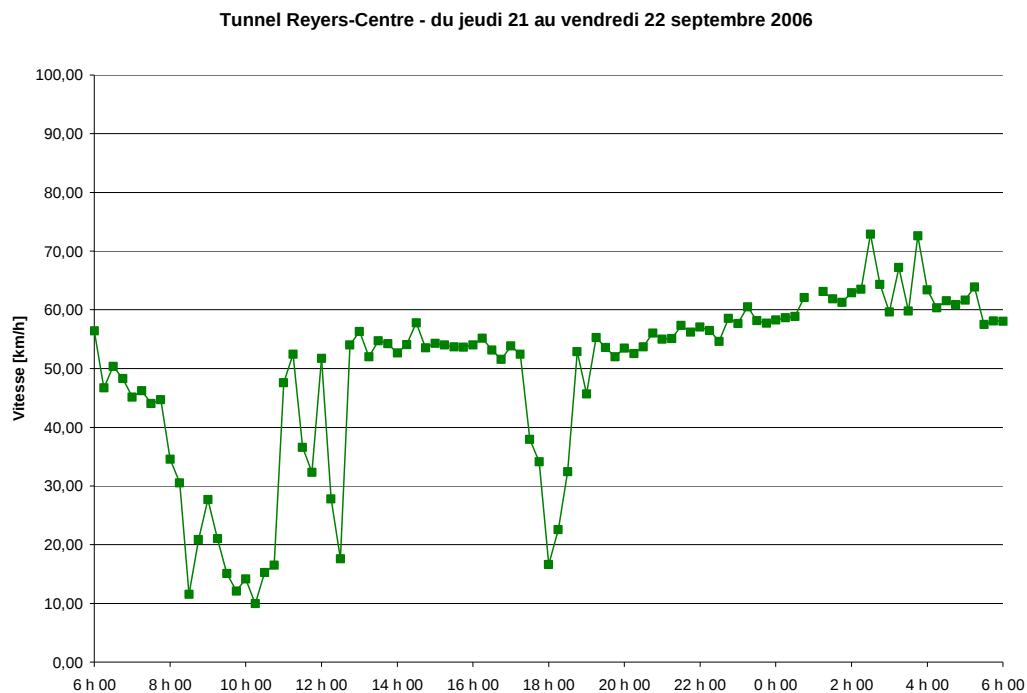


Figure 74 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Reyers – 21-22/09/2006

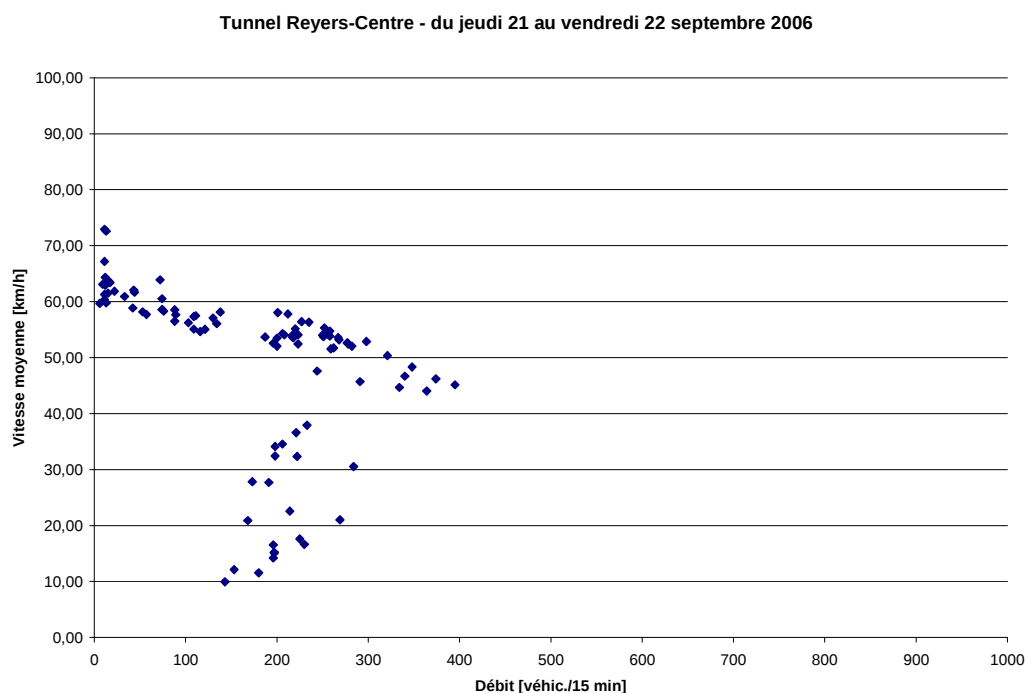


Figure 75 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Reyers – 21-22/09/2006

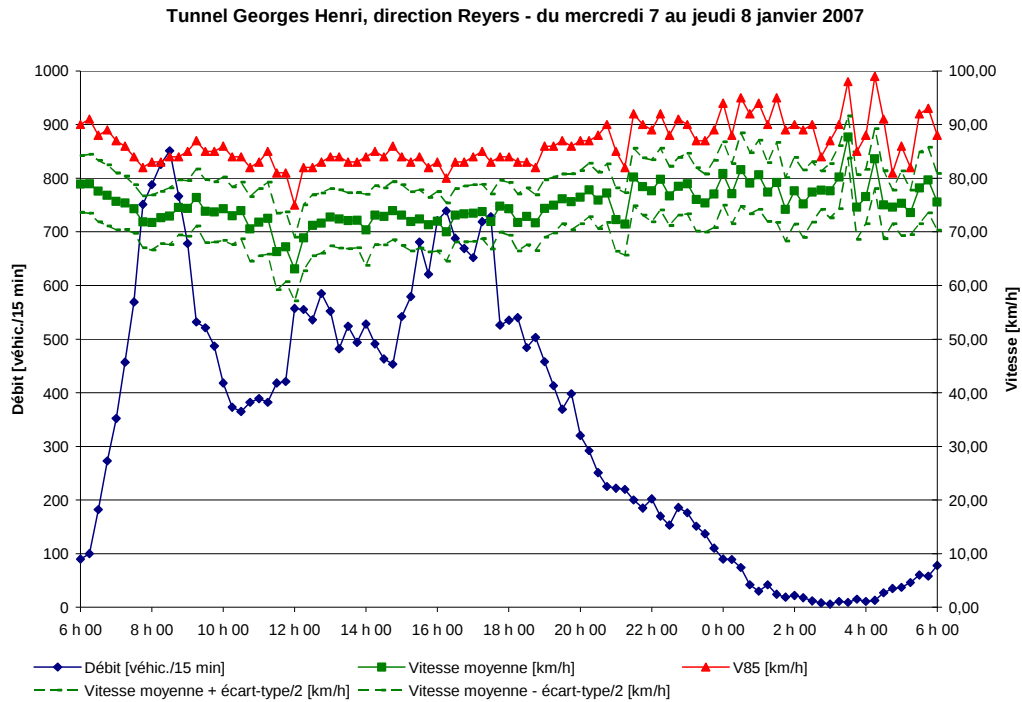


Figure 76 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Georges Henri, direction Reyers – 7-8/01/2007

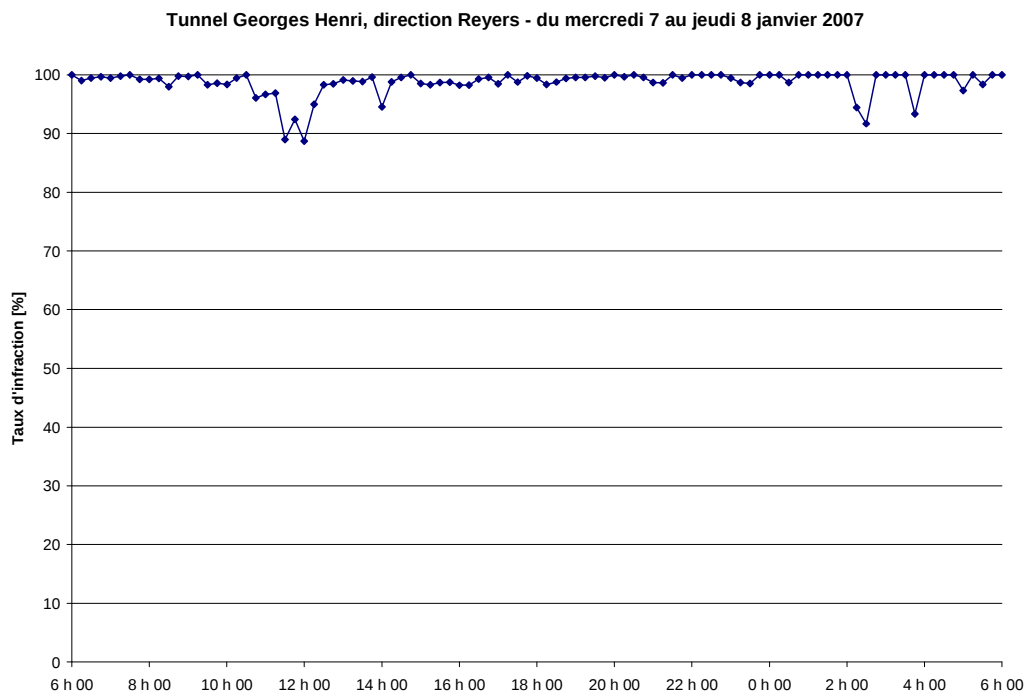


Figure 77 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Georges Henri, direction Reyers – 7-8/01/2007

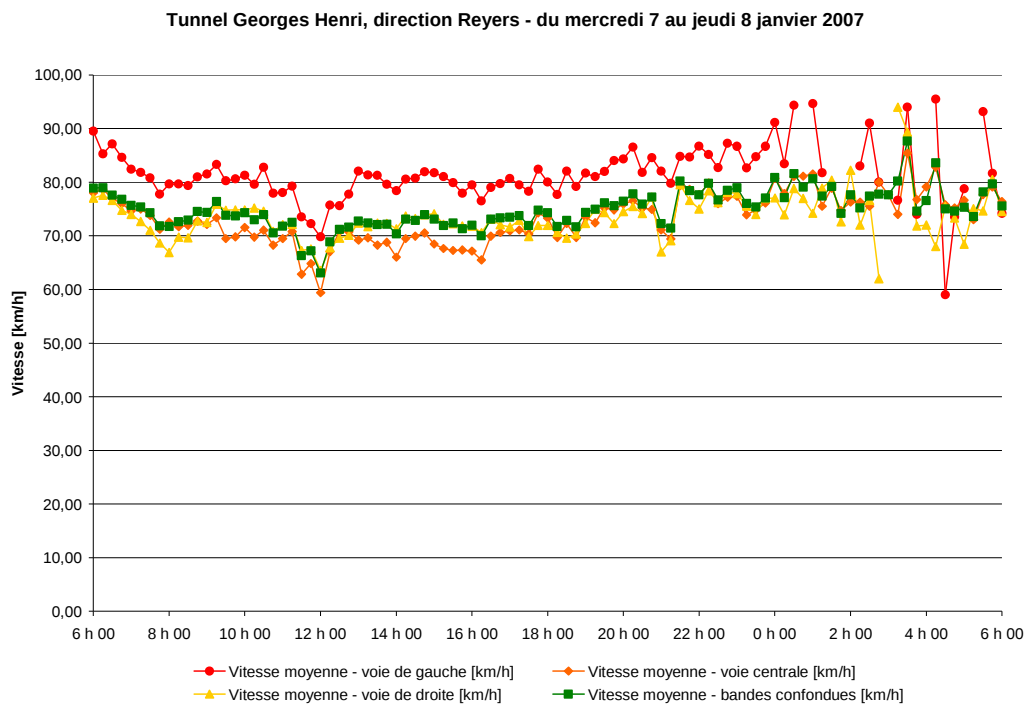


Figure 78 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Georges Henri, direction Reyers – 7-8/01/2007

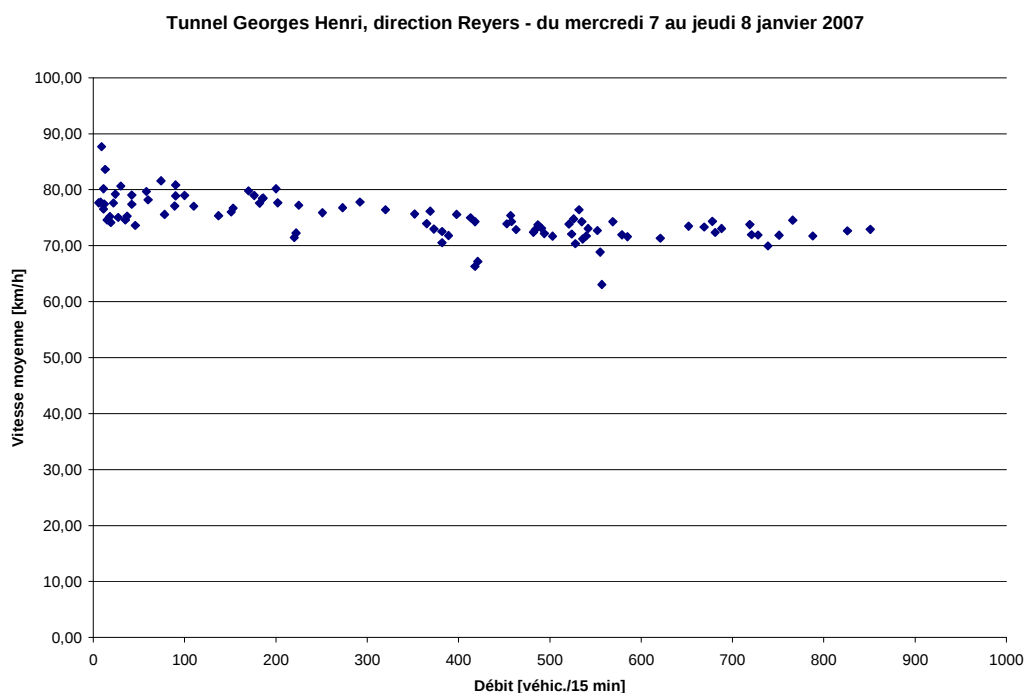


Figure 79 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Georges Henri, direction Reyers – 7-8/01/2007

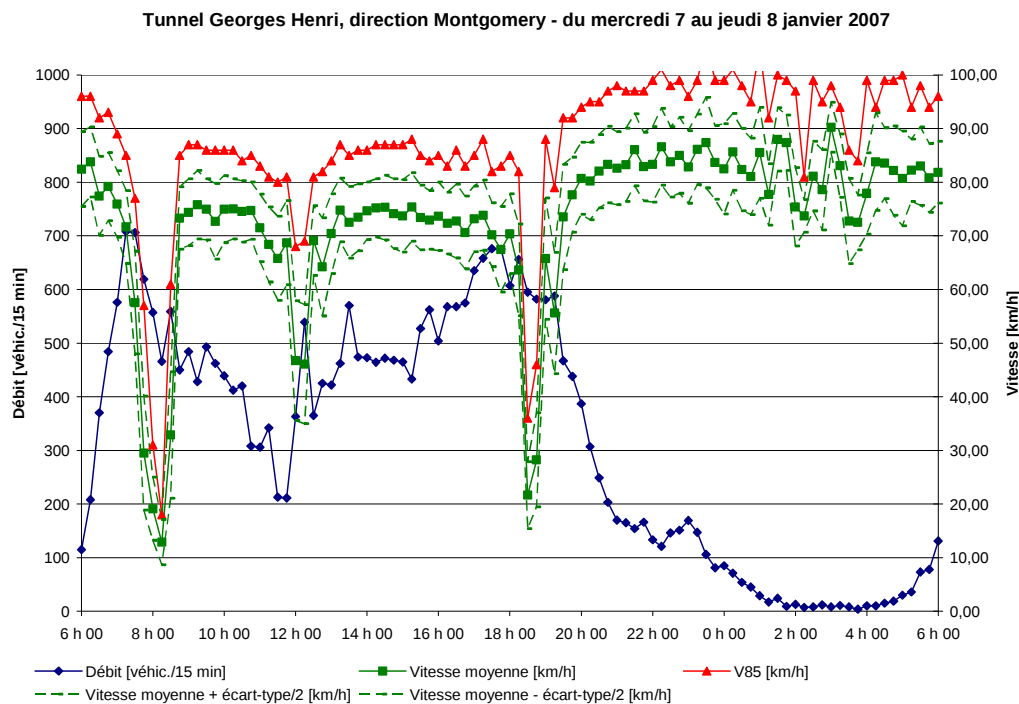


Figure 80 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Georges Henri, direction Montgomery – 7-8/01/2007

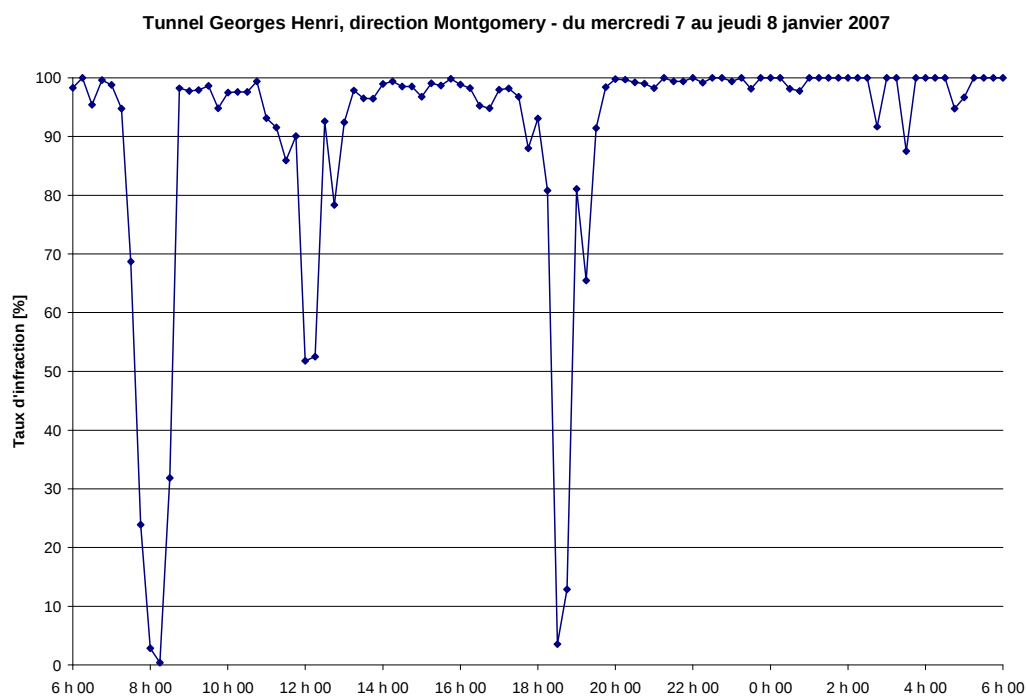


Figure 81 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Georges Henri, direction Montgomery – 7-8/01/2007

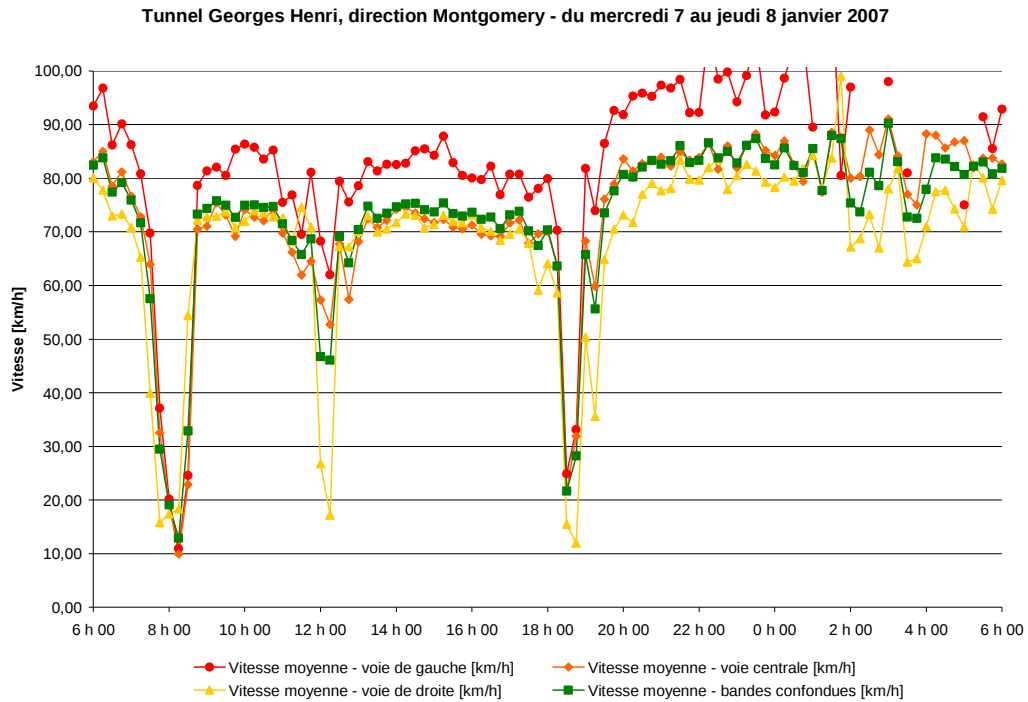


Figure 82 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Georges Henri, direction Montgomery – 7-8/01/2007

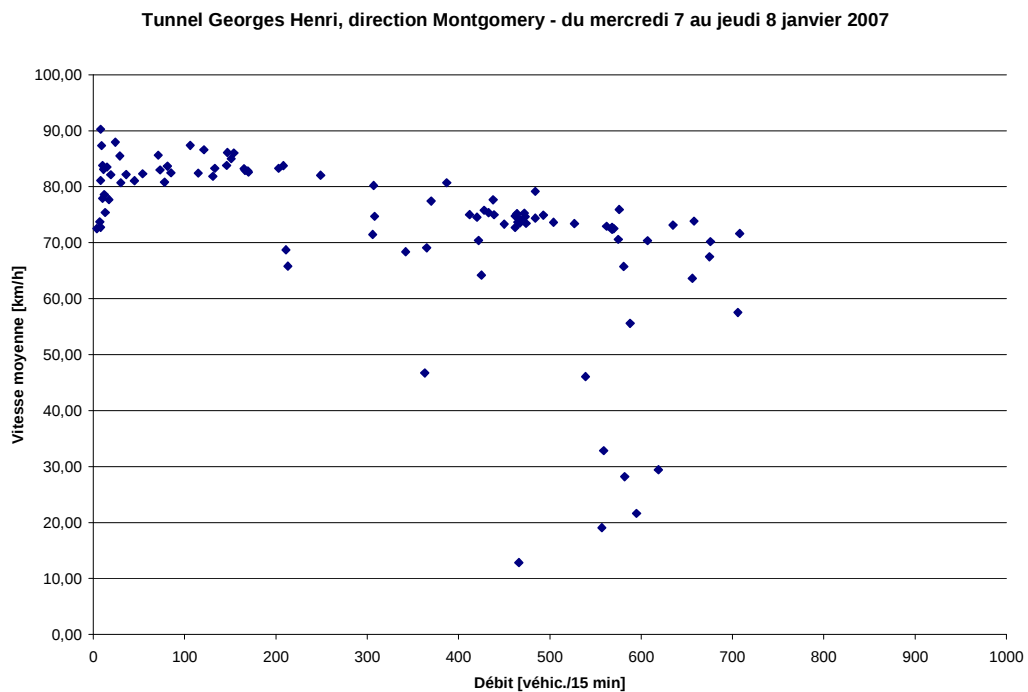


Figure 83 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Georges Henri, direction Montgomery – 7-8/01/2007

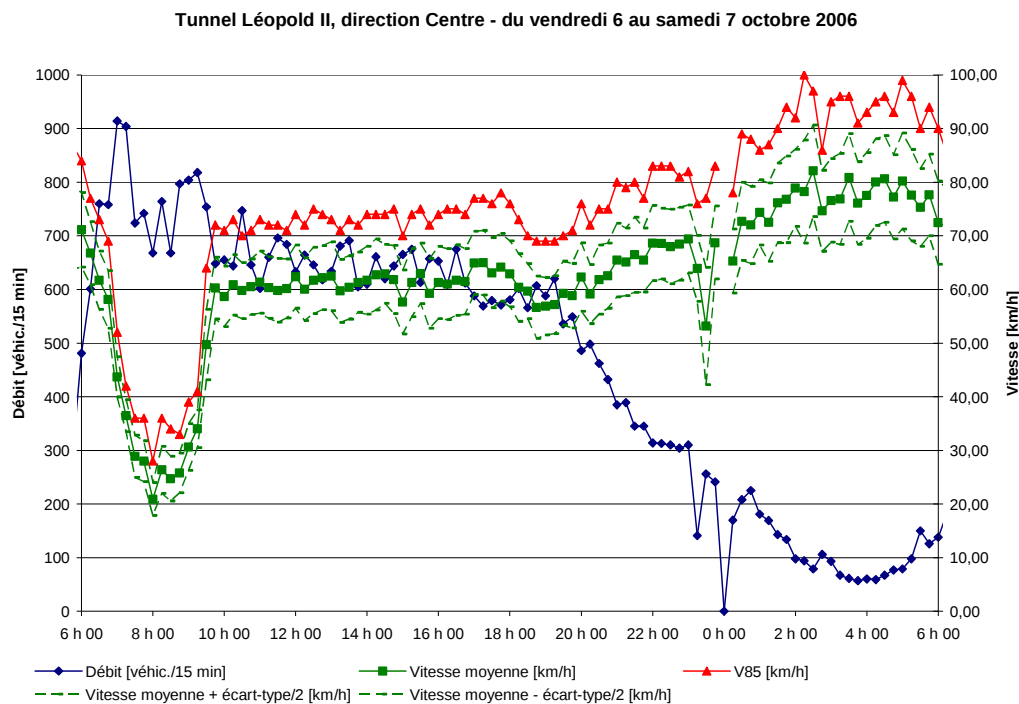


Figure 84 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Léopold II, direction Centre – 6-7/10/2006

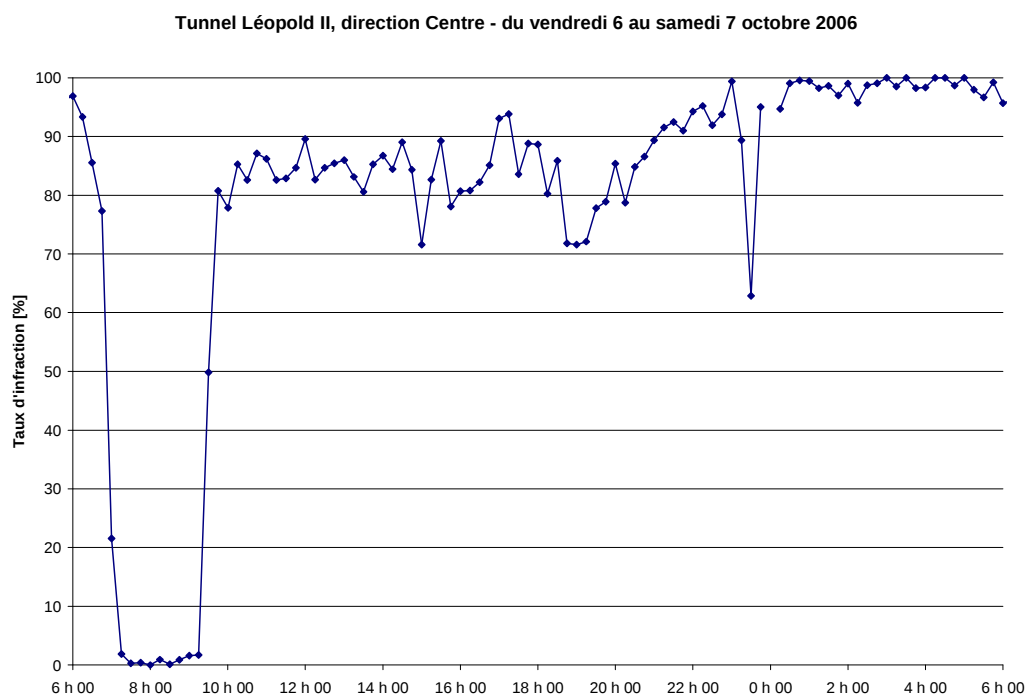


Figure 85 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Léopold II, direction Centre – 6-7/10/2006

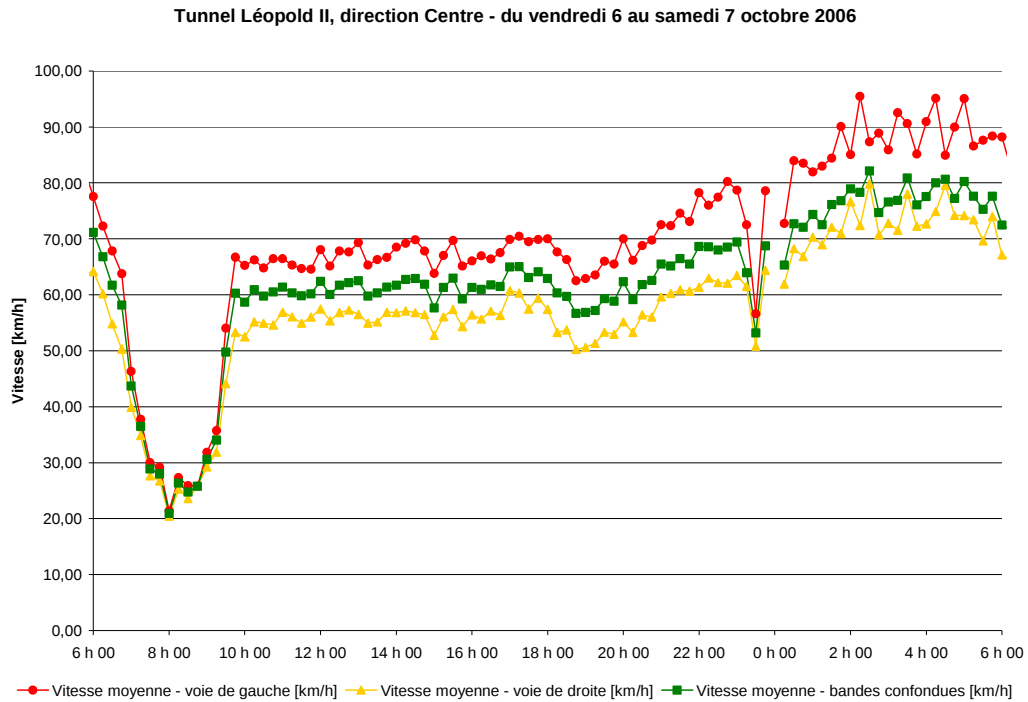


Figure 86 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Léopold II, direction Centre – 6-7/10/2006

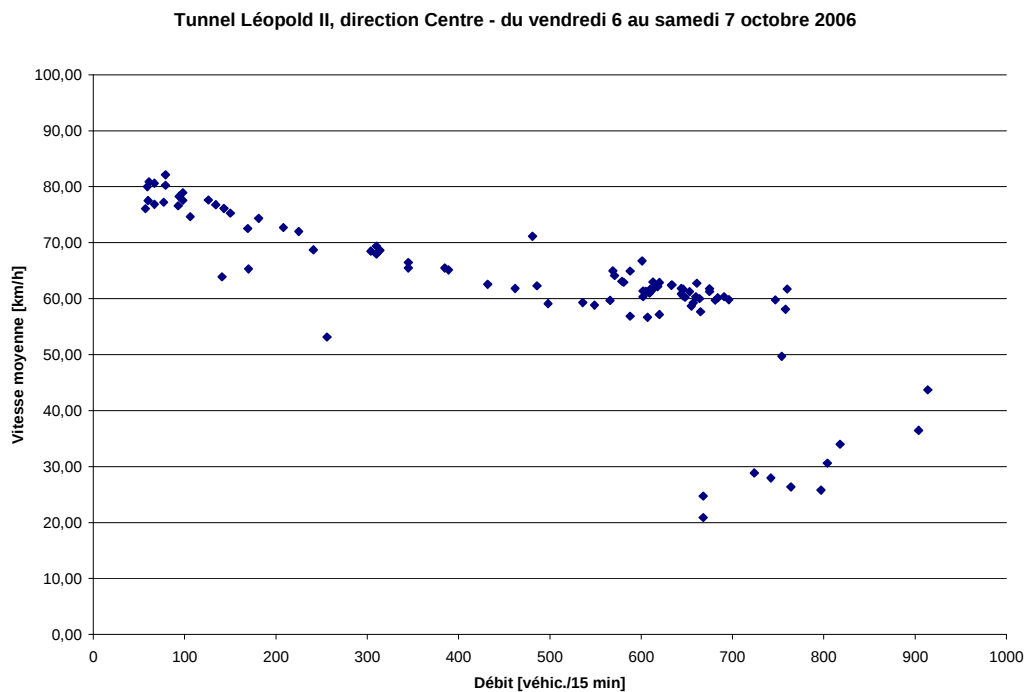


Figure 87 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Léopold II, direction Centre – 6-7/10/2006

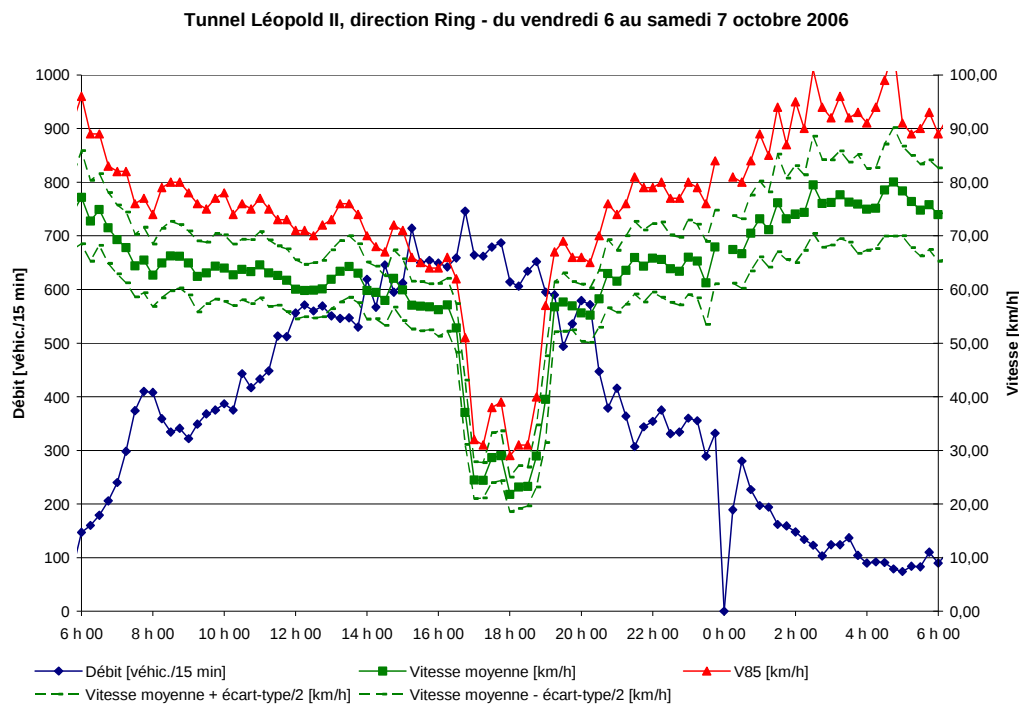


Figure 88 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Léopold II, direction Ring – 6-7/10/2006

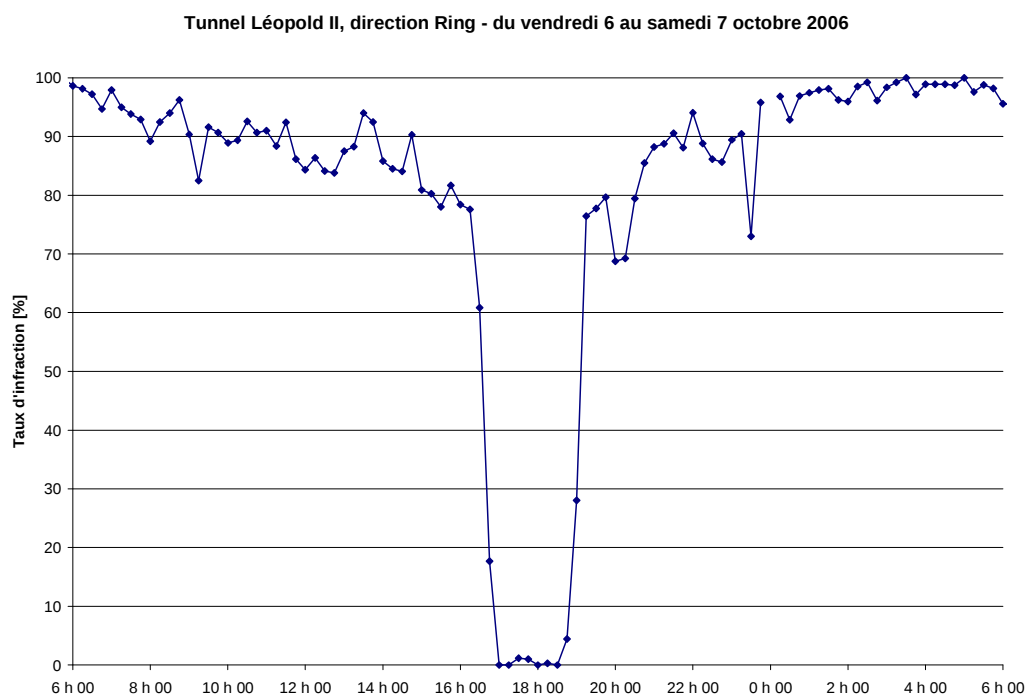


Figure 89 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Léopold II, direction Ring – 6-7/10/2006

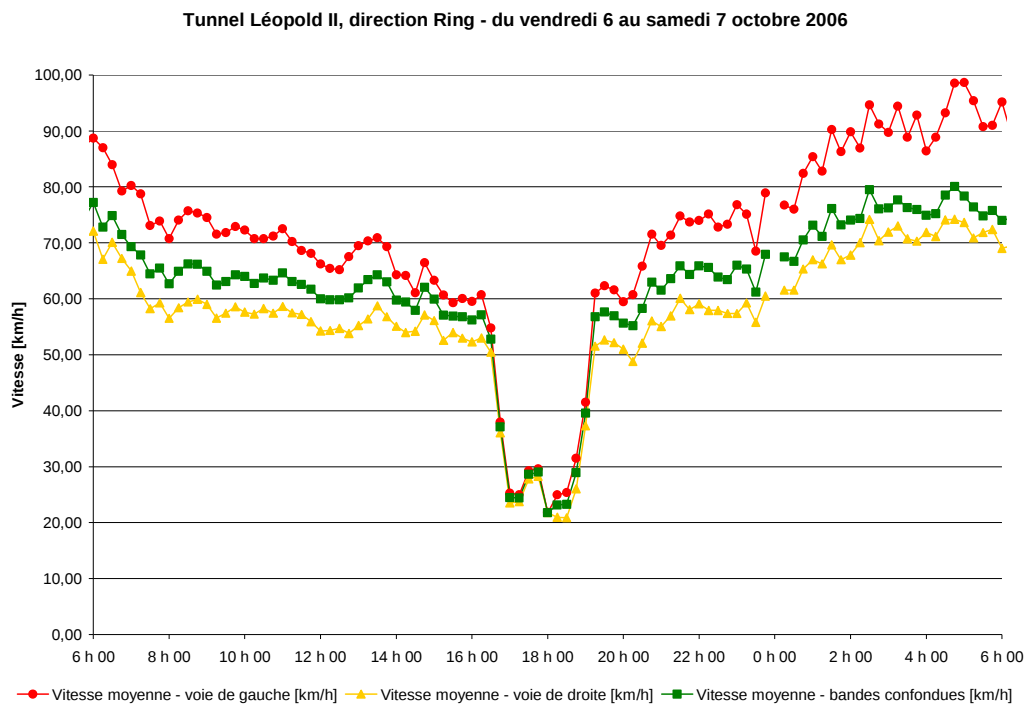


Figure 90 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Léopold II, direction Ring – 6-7/10/2006

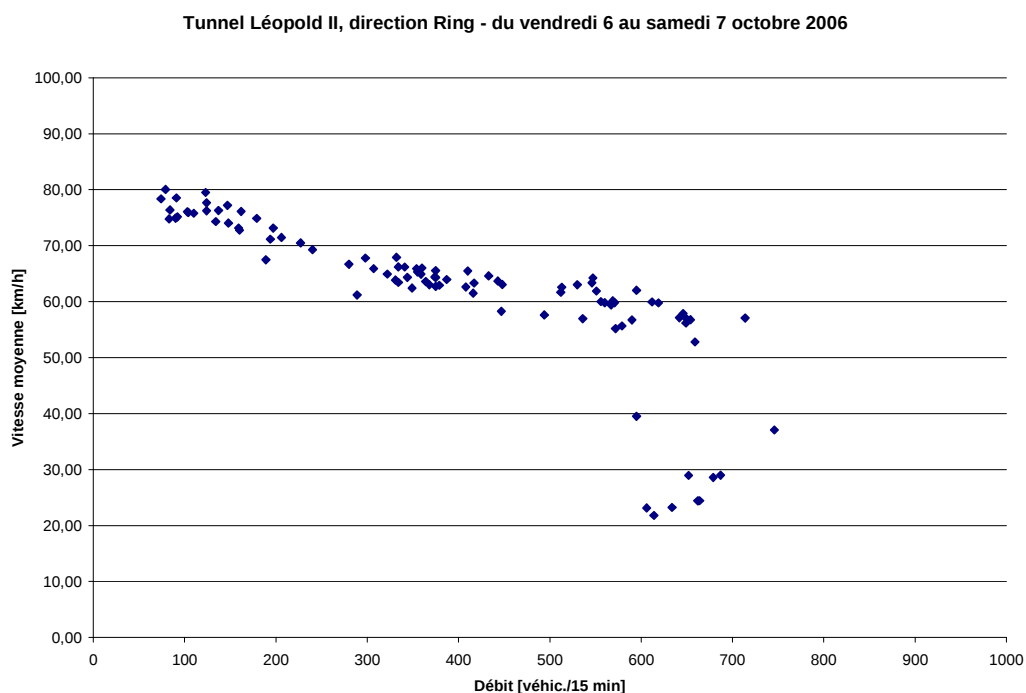


Figure 91 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Léopold II, direction Ring – 6-7/10/2006

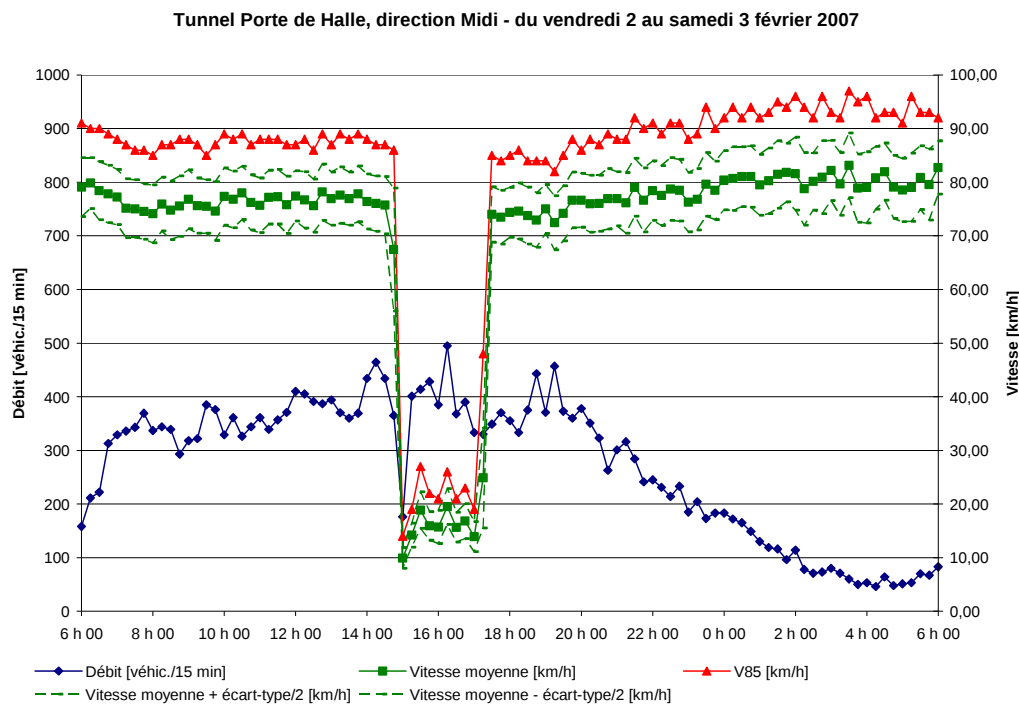


Figure 92 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Porte de Halle, direction Midi – 2-3/02/2007

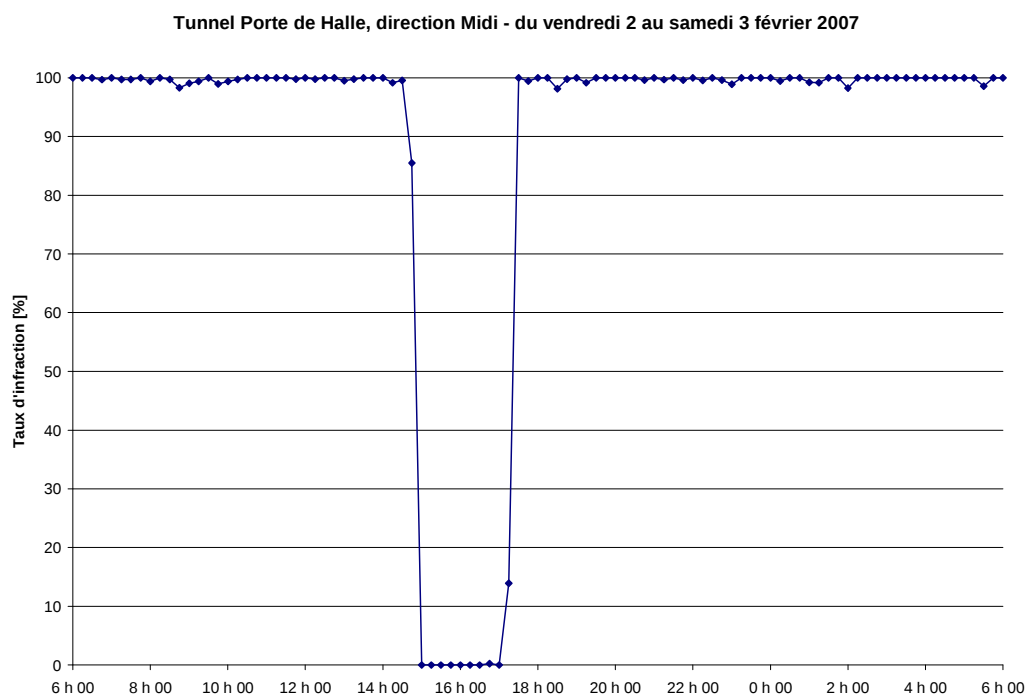


Figure 93 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Porte de Halle, direction Midi – 2-3/02/2007

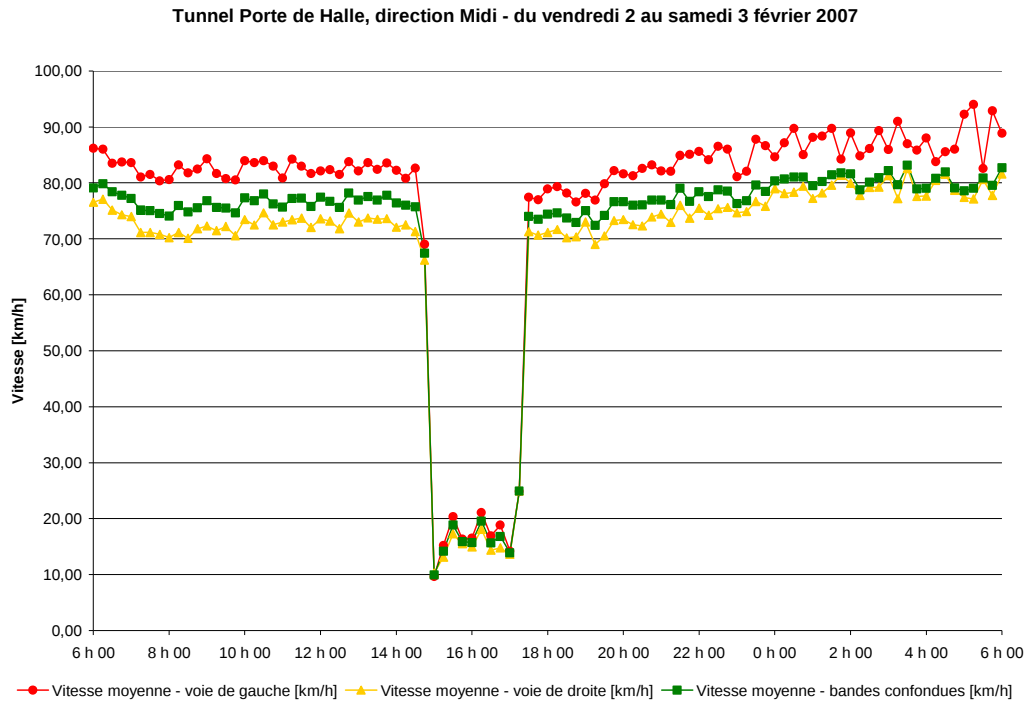


Figure 94 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Porte de Halle, direction Midi – 2-3/02/2007

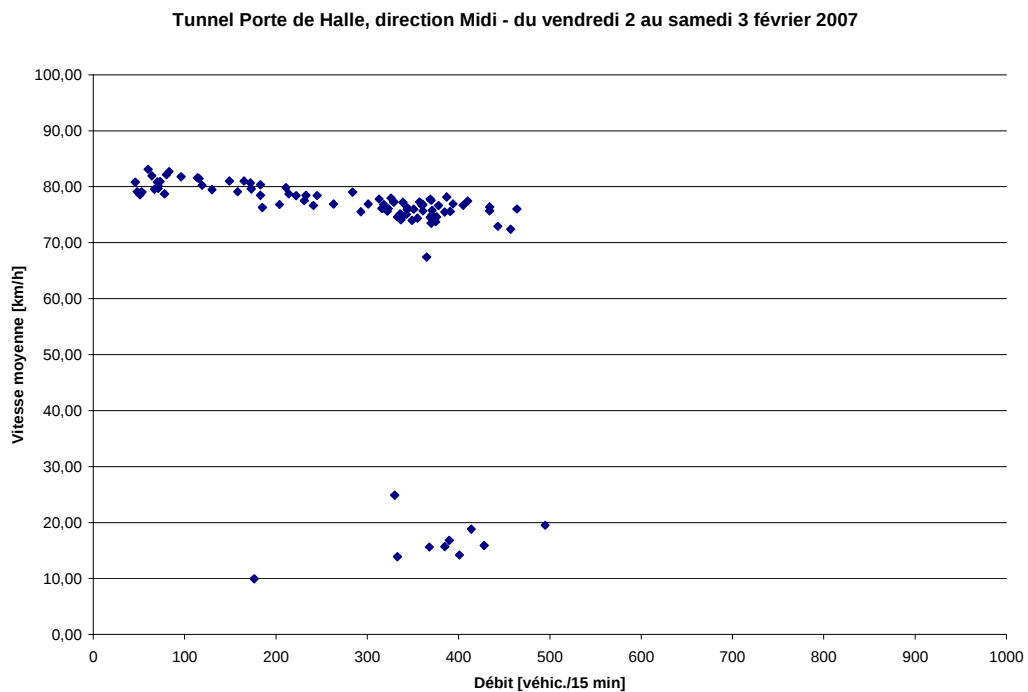


Figure 95 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Porte de Halle, direction Louise – 2-3/02/2007

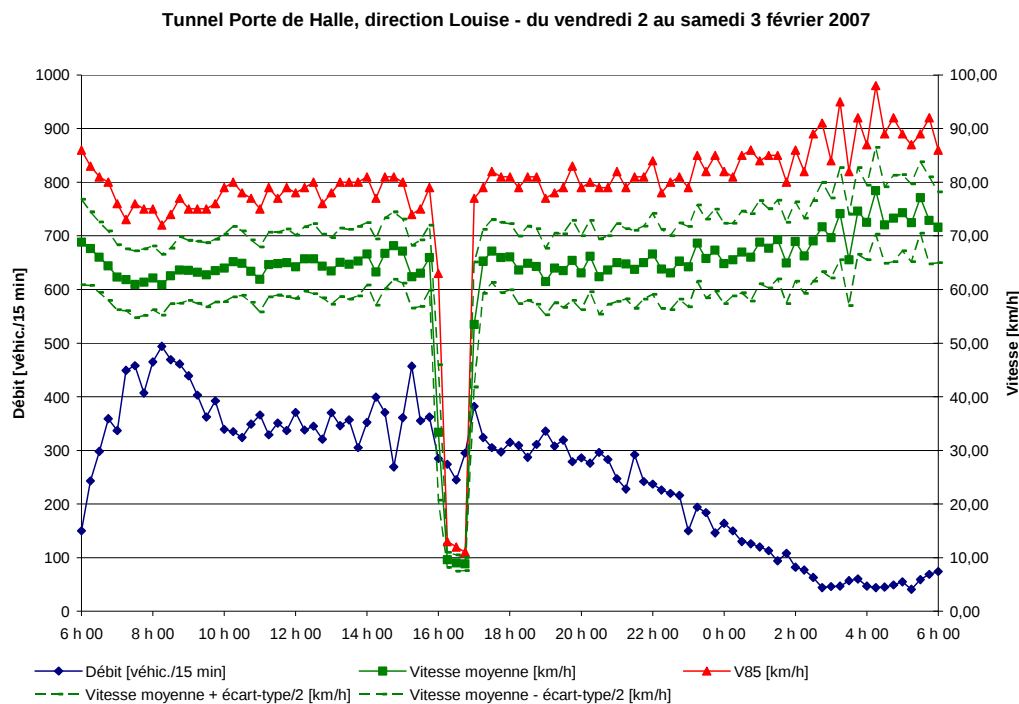


Figure 96 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Porte de Halle, direction Louise – 2-3/02/2007

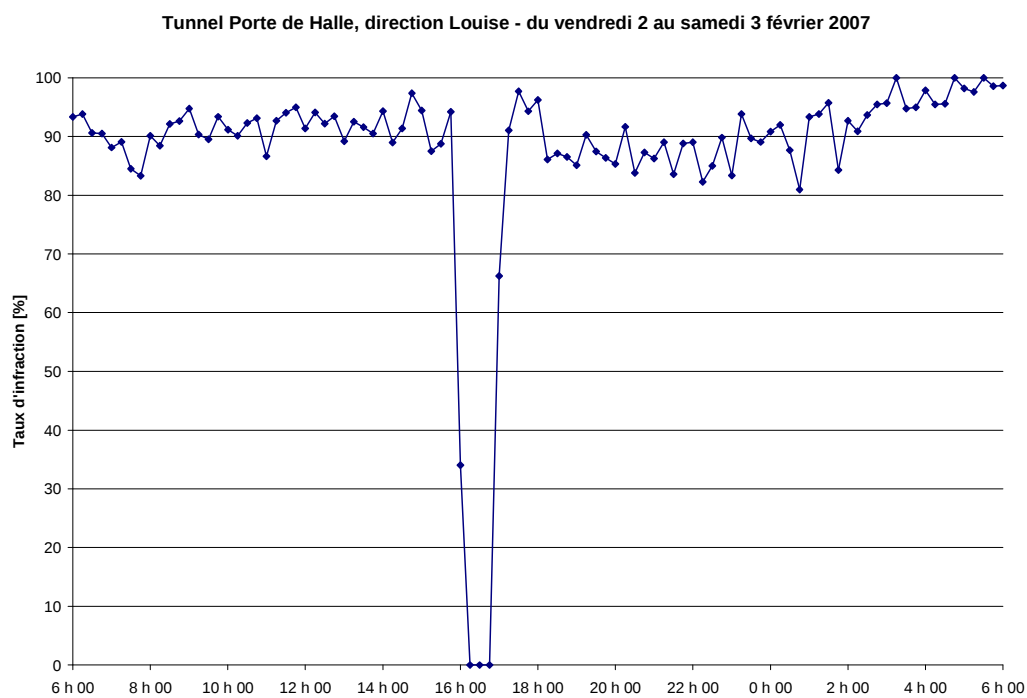


Figure 97 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Porte de Halle, direction Louise – 2-3/02/2007

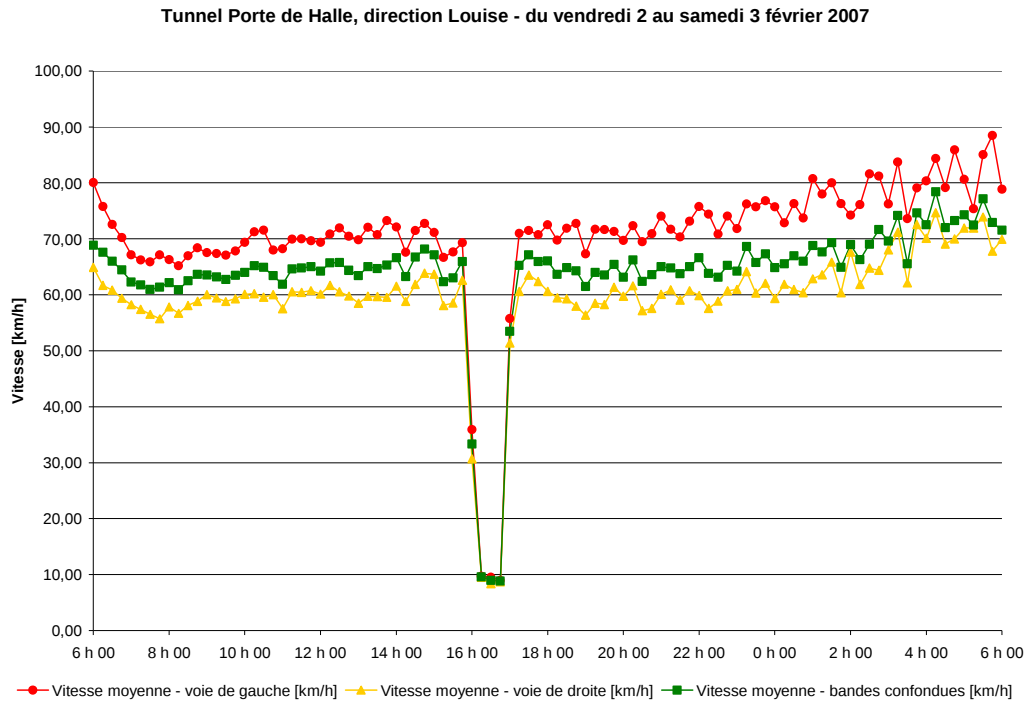


Figure 98 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Porte de Halle, direction Louise – 2-3/02/2007

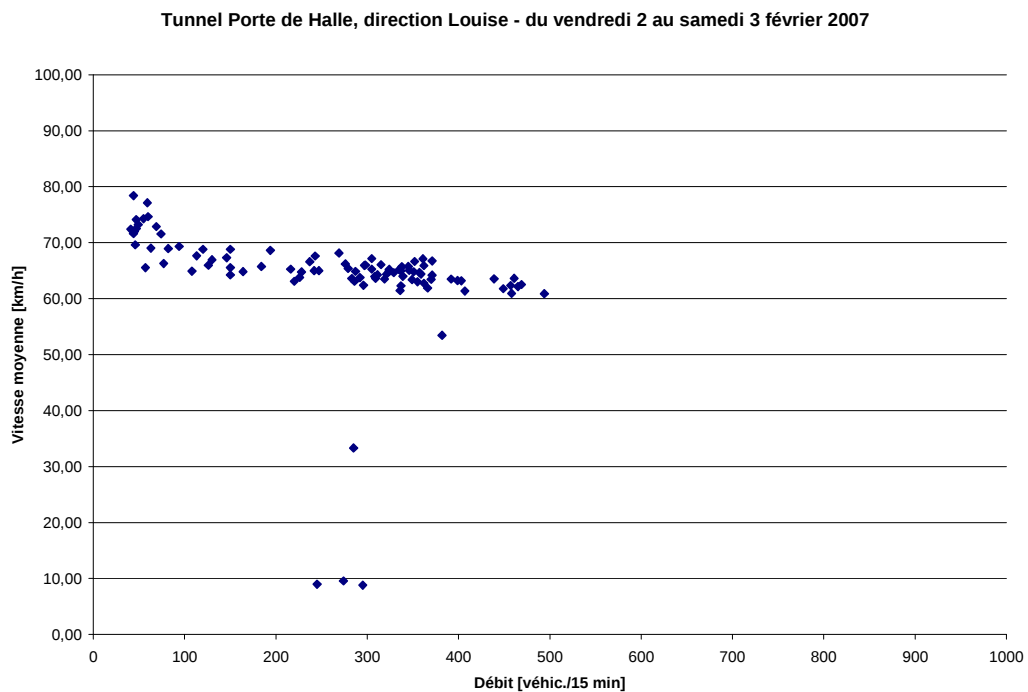


Figure 99 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Porte de Halle, direction Louise – 2-3/02/2007

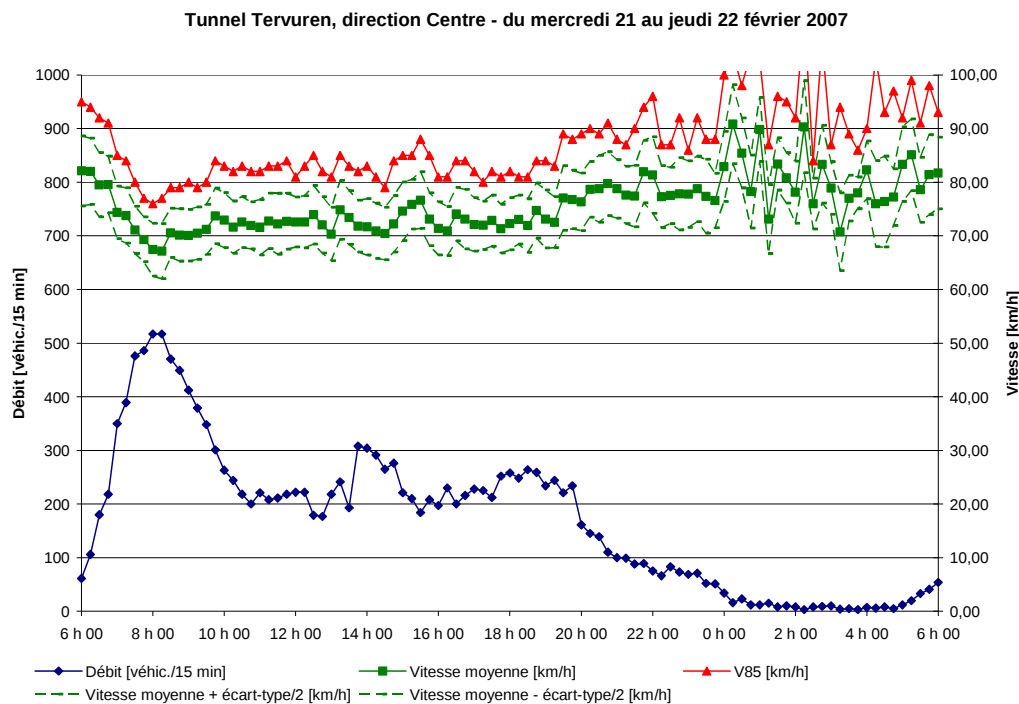


Figure 100 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Tervuren, direction Centre – 21-22/02/2007

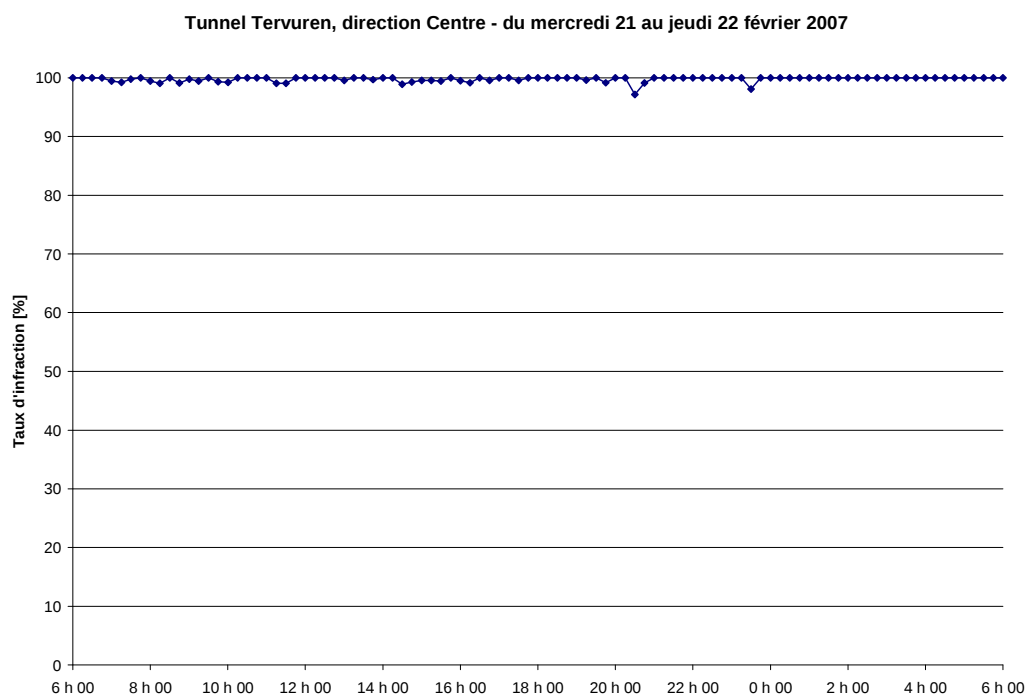


Figure 101 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Tervuren, direction Centre – 21-22/02/2007

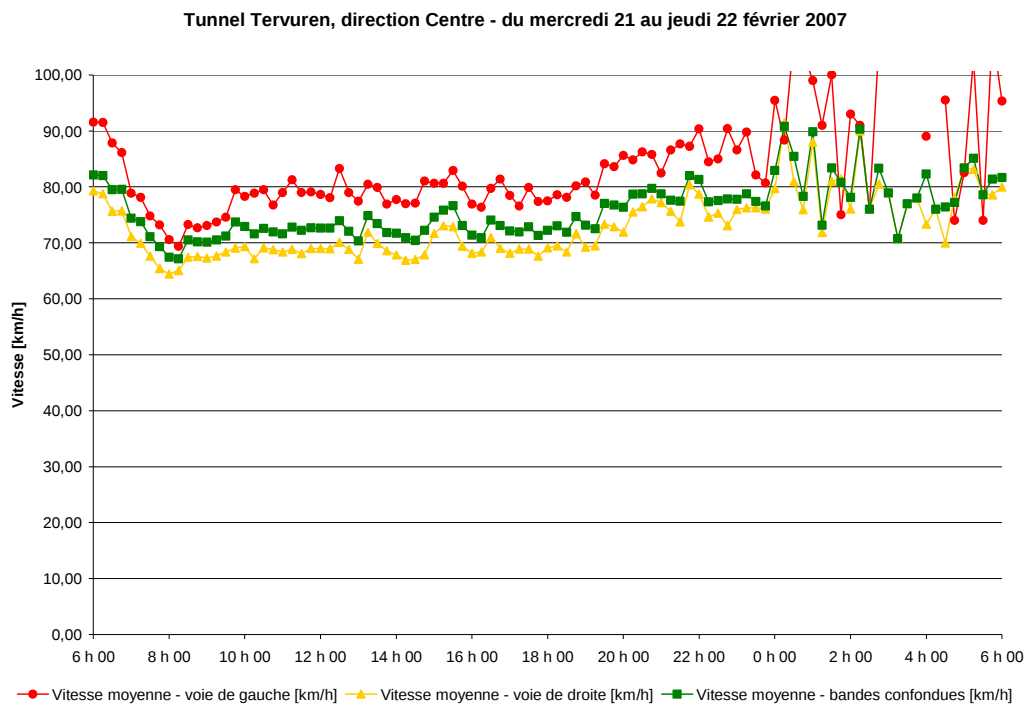


Figure 102 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Tervuren, direction Centre – 21-22/02/2007

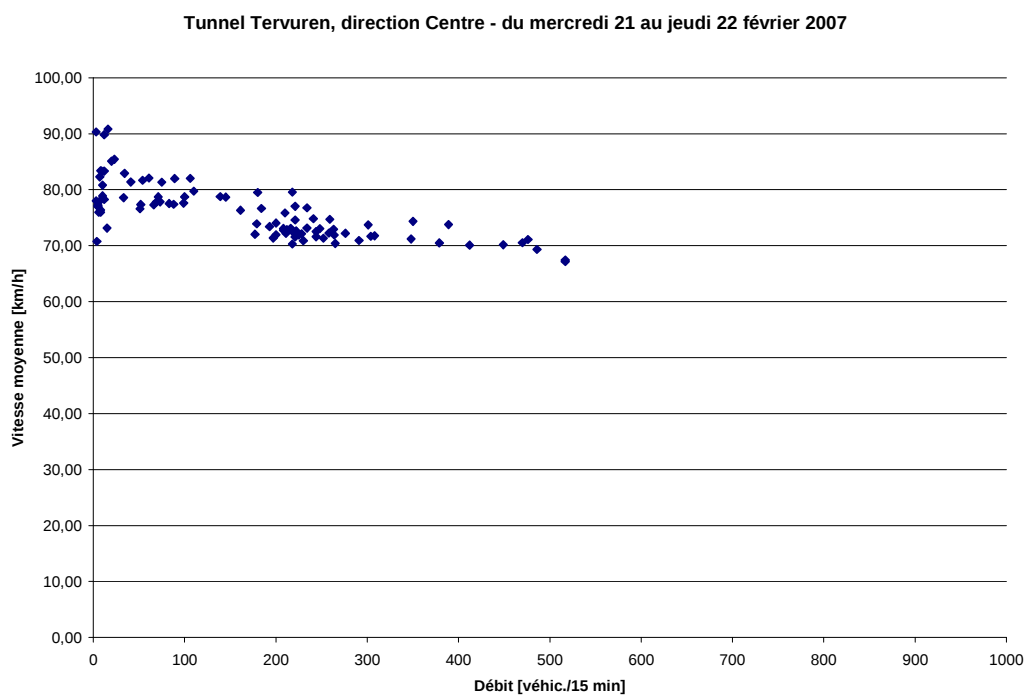


Figure 103 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Tervuren, direction Centre – 21-22/02/2007

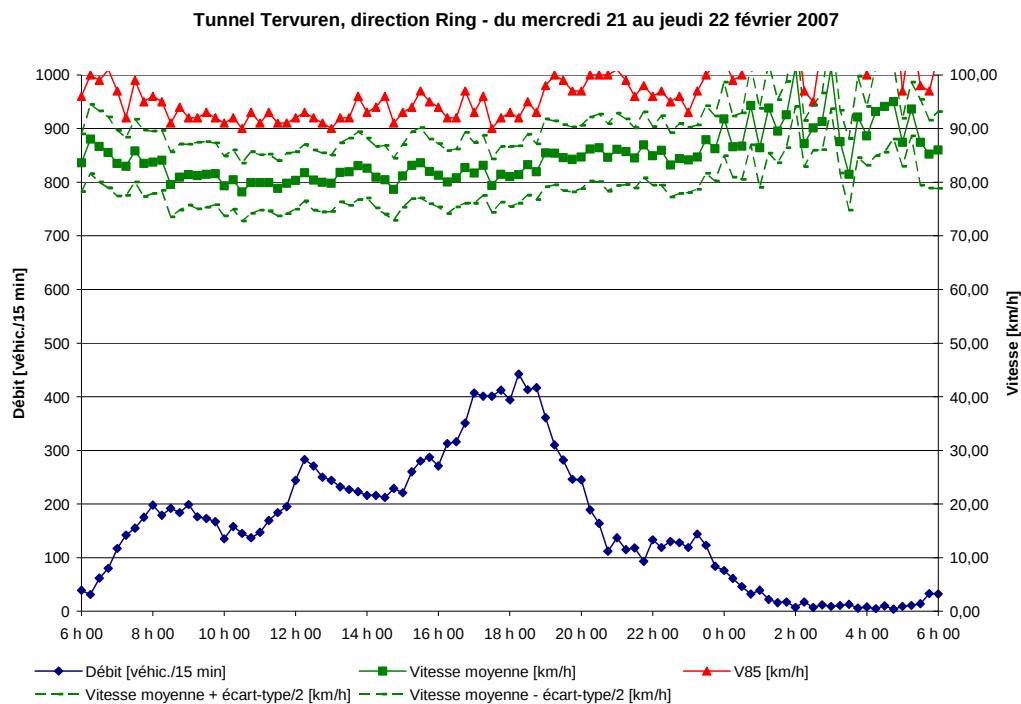


Figure 104 : graphique chronologique de vitesse moyenne et écart-type, V85 et débit dans le tunnel Tervuren, direction Ring – 21-22/02/2007

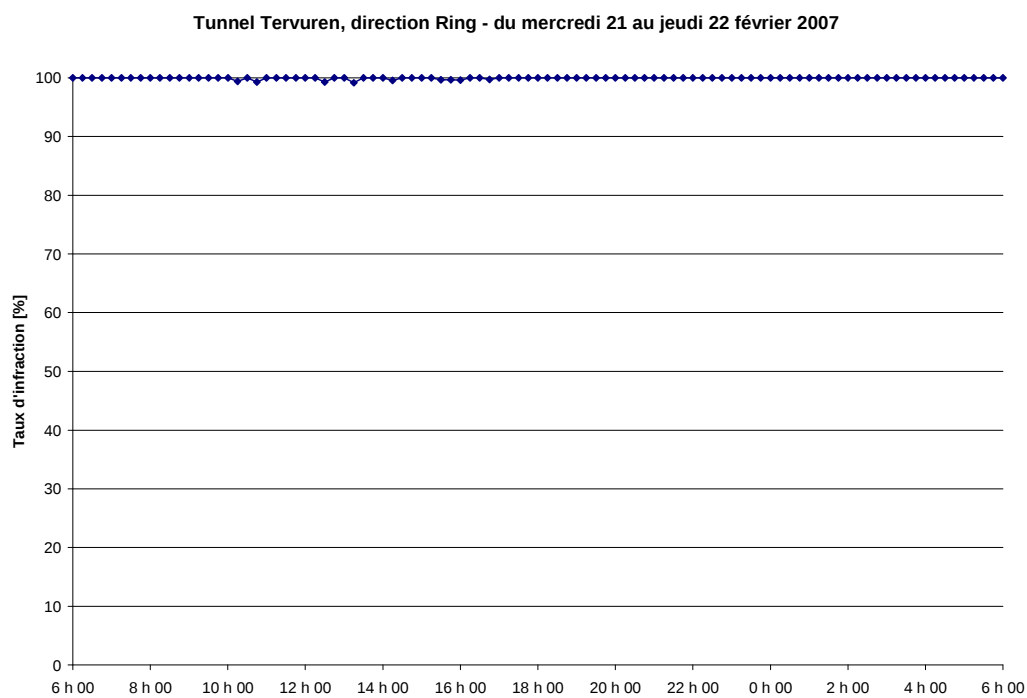


Figure 105 : graphique chronologique du taux d'infraction dans le tunnel Tervuren, direction Ring – 21-22/02/2007

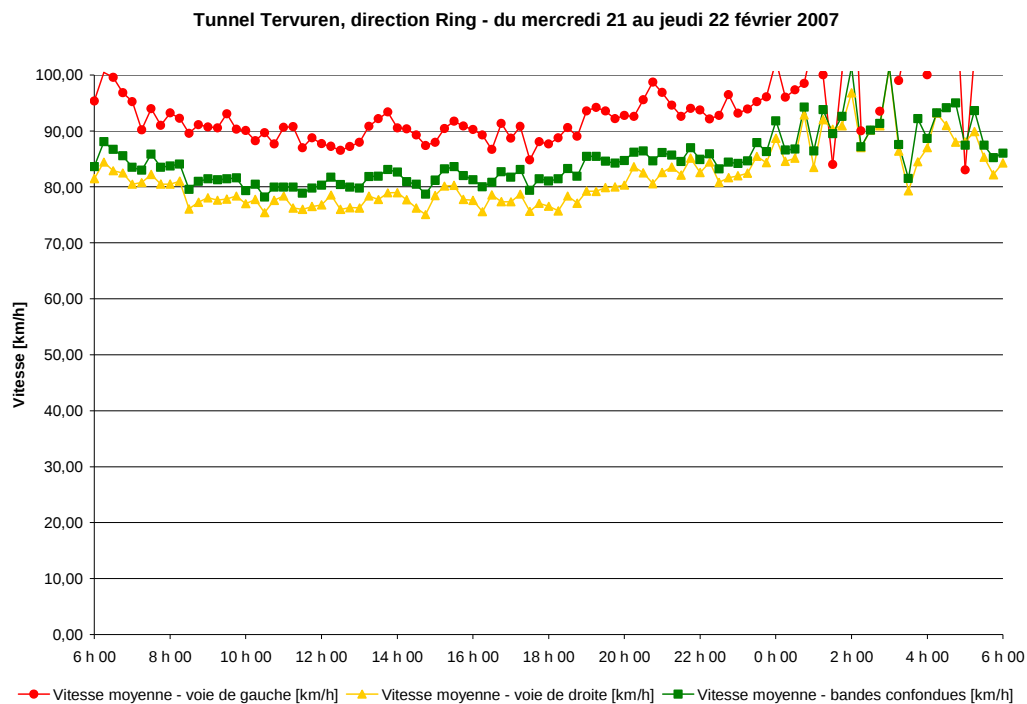


Figure 106 : graphique chronologique des vitesses moyennes par bande de circulation dans le tunnel Tervuren, direction Ring – 21-22/02/2007

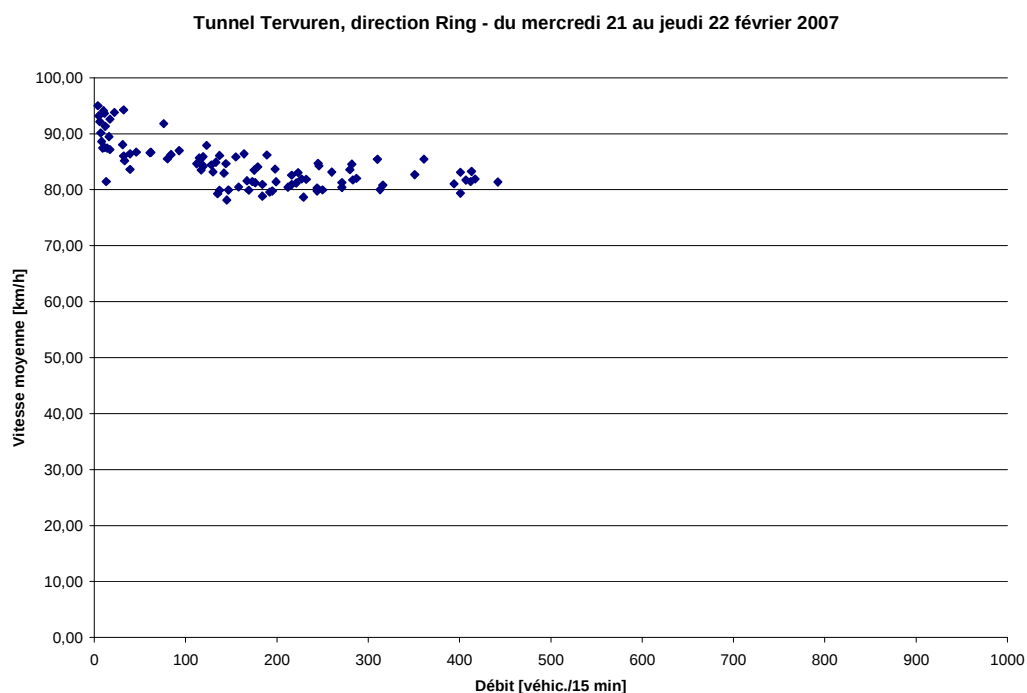


Figure 107 : graphique débit-vitesse dans le tunnel Tervuren, direction Ring – 21-22/02/2007