

**Plan d'appui scientifique à une politique de développement durable
Programme "Mobilité durable"**

**Services du Premier Ministre
Services fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles**

**ADEQUATION D'UN MODELE DE SIMULATION DE TRAFIC
ET D'UN MODELE DE SIMULATION D'EMISSIONS ATMOSPHERIQUES**

Rapport final

décembre 1996 – mars 2000

Contrats MD/DD/013, MD/DD/014

SAMUËL SAELENS ET PASCAL SIMUS
INSTITUT WALLON DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL ET
D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
BOULEVARD FRERE ORBAN, 4
5000 NAMUR
(COORDINATEUR)

PR. PHILIPPE TOINT ET BENOIT MASQUILIER
FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX
GROUPE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
REMPART DE LA VIERGE, 8
5000 NAMUR

**Plan d'appui scientifique à une politique de développement durable
Programme "Mobilité durable"**

**Services du Premier Ministre
Services fédéraux des Affaires Scientifiques, Techniques et Culturelles**

**ADEQUATION D'UN MODELE DE SIMULATION DE TRAFIC
ET D'UN MODELE DE SIMULATION D'EMISSIONS ATMOSPHERIQUES**

Rapport final

décembre 1996 – mars 2000

Contrats MD/DD/013, MD/DD/014

SAMUËL SAELENS ET PASCAL SIMUS
INSTITUT WALLON DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL ET
D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
BOULEVARD FRERE ORBAN, 4
5000 NAMUR
(COORDINATEUR)

PR. PHILIPPE TOINT ET BENOIT MASQUILIER
FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX
GROUPE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
REMPART DE LA VIERGE, 8
5000 NAMUR

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	12
1.1. Objectifs	12
1.2. Méthode	12
2. Méthodologie	14
2.1. Emissions atmosphériques des transports routiers	14
2.1.1. Choix des polluants à recenser et des types d'émissions à considérer	14
2.1.2. Importance des émissions du transport par région	14
2.1.2.1. Le SO ₂	15
2.1.2.1.1. Emissions	15
2.1.2.1.2. Evolution 1990-1998 du SO ₂ du transport en Région de Bruxelles-Capitale	15
2.1.2.2. Le NO _x	16
2.1.2.2.1. Emissions	16
2.1.2.2.2. Evolution 1990-1998 du NO _x en Région de Bruxelles-Capitale.....	16
2.1.2.3. Le CO ₂	17
2.1.2.3.1. Emissions	17
2.1.2.3.2. Evolution 1990-1998 du CO ₂ en Région de Bruxelles-Capitale	17
2.1.3. Inventaire des modèles et études portant sur les émissions atmosphériques des transports routiers	18
2.1.3.1. Recensement des modèles d'émissions des polluants précités	18
2.1.4. Choix de la méthode CORINAIR	19
2.1.5. Le modèle COPERT.....	19
2.1.5.1. La formule de base.....	19
2.1.5.2. Les facteurs d'émissions	19
2.1.5.3. Le calcul des surémissions à froid	20
2.1.5.4. Les véhicules	21
2.2. Le modèle de simulation PACSIM	22
2.2.1. Modèle urbain.....	22
2.2.2. Modèle dynamique	22
2.2.3. Modèle comportemental.....	23
2.2.4. Modèle multimodal	23
2.2.5. Modèle muni d'un système d'informations pour les usagers.....	23
2.2.6. Modélisation des carrefours	24
2.2.6.1. Les carrefours à priorité	24
2.2.6.2. Les carrefours gérés par des feux de signalisation	26
2.2.6.3. Les giratoires	28
2.3. Mise en adéquation des modèles	31
2.3.1. Adaptation du modèle PACSIM aux caractéristiques des modèles d'émissions	31
2.3.2. Intégration du modèle d'émissions dans le modèle PACSIM	31
2.3.3. Intégration du modèle de surémissions à froid dans PACSIM.....	32
3. Bilan des résultats	33
3.1. Choix de la zone test	33
3.2. Récolte des données nécessaires aux modèles pour cette zone	33

3.2.1.	Pour le modèle de trafic	33
3.2.1.1.	La matrice de demande	33
3.2.1.1.1.	Mise à jour de la matrice du matin (7h30-9h00).....	33
3.2.1.1.2.	Mise à jour de la matrice du soir	34
3.2.1.2.	Le réseau routier.....	35
3.2.2.	Pour le modèle d'émissions	36
3.2.2.1.	La classification des voitures du modèle	36
3.2.2.2.	La répartition en normes ECE des voitures essence	36
3.2.2.3.	La cylindrée des voitures particulières à essence.....	37
3.2.2.4.	La répartition en normes ECE des voitures diesel.....	37
3.2.2.5.	La cylindrée des voitures particulières diesel	37
3.2.2.6.	La répartition en normes ECE des voitures LPG.....	38
3.2.2.7.	Les routes	38
3.2.2.8.	Les émissions de CO ₂ et de SO ₂	38
3.3.	Cartographie des émissions.....	39
3.4.	La validation de la simulation	39
3.4.1.	Calibrage du modèle de simulation du trafic	39
3.4.1.1.	Difficultés rencontrées	39
3.4.1.2.	Situation du matin.....	40
3.4.1.3.	Situation du soir	46
3.4.2.	Le calcul des consommations en litres/100 km	49
3.5.	Simulation combinée réalisée sur une zone test.....	49
3.5.1.	Réseau de base	49
3.5.2.	Réalisation de la simulation de base	50
3.5.3.	Les paramètres exportés.....	50
3.5.4.	Simulations prospectives.....	51
4.	Analyse des résultats obtenus.....	52
4.1.	La situation témoin	52
4.1.1.	Données globales	52
4.1.2.	Cartographie	52
4.1.3.	Analyse localisée (quartiers - rues).....	56
4.2.	Comparaisons de simulations.....	57
4.2.1.	Simulation de variation de températures ambiantes	57
4.2.1.1.	Paramètres (CO, NOx, CO ₂)	58
4.2.2.	Simulation de réduction de limite de vitesse.....	59
4.2.2.1.	Paramètres (CO ₂ , NOx, CO, FLOW)	59
4.2.2.2.	Analyse localisée (quartiers - rues).....	60
4.2.2.3.	Cartographie à 8h00.....	61
4.2.3.	Simulation de l'aménagement de voirie	62
4.2.3.1.	Paramètres (CO ₂ , NOx, CO, FLOW)	62
4.2.3.2.	Analyse localisée (quartiers - rues).....	63
4.2.4.	Comparaison entre réduction de vitesse et aménagement de voirie	64
4.2.4.1.	Paramètres (CO ₂ , NOx, CO)	64
4.2.4.2.	Analyse localisée (quartiers - rues).....	64
4.2.5.	Variation du mode de déplacement : le bus	66
4.2.5.1.	Paramètres (CO ₂ , NOx, CO)	66
4.2.5.2.	Analyse localisée (quartiers - rues).....	67
5.	Conclusions et recommandations.....	68

5.1. Limite du modèle combiné.....	68
5.2. Difficulté de mise en œuvre	68
5.3. Intérêt de prédictions comparatives.....	69
5.4. Poursuite de l'étude.....	69
6. Publications.....	70
7. BIBLIOGRAPHIE.....	71

FIGURES

Figure 1 - Part des secteurs dans les émissions directes de SO ₂	15
Figure 2 - Evolution des émissions directes de SO ₂ de 1990 à 1998 (en indice 1990 = 100).....	15
Figure 3 - Part des secteurs dans les émissions directes de NO _x	16
Figure 4 - Evolution des émissions directes de NO _x de 1990 à 1998 (en indice 1990 = 100).....	16
Figure 5 - Part des secteurs dans les émissions directes de CO ₂	17
Figure 6 - Evolution des émissions directes de CO ₂ de 1990 à 1998 (en indice 1990 = 100).....	17
Figure 7 - Schéma de carrefours à priorité.....	24
Figure 8 - Schéma d'un carrefour géré par des feux de signalisation.....	26
Figure 9 - Modélisation des ronds-points à une bande.....	28
Figure 10 - Modélisation d'un rond-point à plusieurs bandes.....	29
Figure 11 - Distribution du rapport entre les flux simulés et les comptages.....	41
Figure 12 - Flux simulés en fonction des comptages.....	42
Figure 13 - Distribution du rapport entre les flux simulés et les comptages.....	45
Figure 14 - Flux simulés en fonction des comptages.....	45
Figure 15 - Distribution du rapport flux simulé/ comptage pour les arcs ayant servi à mettre à jour la demande.....	47
Figure 16 - Flux simulés en fonction des comptages.....	47
Figure 17 - Distribution du rapport flux simulé/ comptage pour les arcs servant au calibrage du modèle.....	48
Figure 18 - Flux simulés en fonction des comptages.....	48
Figure 19 - Cartographie des émissions de CO ₂ de 7h30 à 7h45 - simulation témoin.....	53
Figure 20 - Cartographie des émissions de CO ₂ de 7h45 à 8h00 - simulation témoin.....	53
Figure 21 - Cartographie des émissions de CO ₂ de 8h00 à 8h15 - simulation témoin.....	54
Figure 22 - Cartographie des émissions de CO ₂ de 8h15 à 8h30 - simulation témoin.....	54
Figure 23 - Cartographie des émissions de CO ₂ de 8h30 à 8h45 - simulation témoin.....	55
Figure 24 - Cartographie des émissions de CO ₂ de 8h45 à 9h00 - simulation témoin.....	55
Figure 25 - comparaison des émissions de CO entre les 3 simulations, Namur 7h30 à 9h15.....	58
Figure 26 - Cartographie des émissions de CO ₂ de 8h00 à 8h15 - simulation 30 km/h.....	61
Figure 27 - Evolution of the consumption of gasoline with the speed. Vehicles ECE 15/04 (53% of the park in Namur).....	88

TABLEAUX

Tableau 1 : Mouvements possibles aux carrefours 12160 et 20228.....	25
Tableau 2 : Description des priorités aux carrefours 12160 et 20228	25
Tableau 3 : Description des mouvements autorisés au nœud 11173.....	26
Tableau 4 : Description des différentes phases des feux au nœud 11173	27
Tableau 5 : Mouvements et priorités d'un rond-point à une bande	28
Tableau 6 : Mouvements et priorités d'un giratoire à plusieurs bandes.....	30
Tableau 7 : Répartition par cylindrée du parc de voitures à essence présent en province (INS 1998). 36	
Tableau 8 : Répartition du parc des voitures essence par âge.	36
Tableau 9 : Répartition par cylindrée du parc de voitures à essence présent en Région Wallonne en 1998.....	37
Tableau 10 : Répartition du parc des voitures diesel par âge.....	37
Tableau 11 : Répartition par cylindrée des voitures diesel présentes en région en 1998.....	37
Tableau 12 : Répartition du parc des voitures LPG par âge.....	38
Tableau 13 : Répartition des vitesses moyennes par type de routes.....	38
Tableau 14 : Facteurs d'émission du CO ₂ et du SO ₂	38
Tableau 15 : Comptage, flux simulé et rapport flux simulé/comptage pour les arcs ayant servi à la mise à jour de la demande.....	41
Tableau 16 : Comptage, flux simulé et rapport flux simulé/comptage pour les arcs ayant servis au calibrage du modèle.	44
Tableau 17 : Consommations en litres par 100 kilomètres pour chaque carburant et chaque tranche horaire (simulation témoin).....	49
Tableau 18 : Emissions de la simulation témoin, quart d'heure par quart d'heure.....	52
Tableau 19 : Emissions de la simulation CopIII été, quart d'heure par quart d'heure	57
Tableau 20 : Emissions de la simulation CopIII hiver, quart d'heure par quart d'heure	57
Tableau 21 : Evolution du CO ₂ et du NOx entre les 3 simulations, Namur 7h30 - 9h15	58
Tableau 22 : Emissions de la simulation CopIII 30 km/h, quart d'heure par quart d'heure.....	59
Tableau 23 : Evolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-30kmh, Namur 7h30 - 9h15.....	59
Tableau 24 : Evolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-30kmh, dans la Corbeille 7h30 - 9h15.....	60
Tableau 25 : Evolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-30kmh, sur la ceinture 7h30 - 9h15.....	60
Tableau 26 : Emissions de la simulation CopIII Plan, quart d'heure par quart d'heure	62
Tableau 27 : Evolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Plan, Namur 7h30 - 9h15.....	62
Tableau 28 : Evolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Plan, dans la Corbeille 7h30 - 9h15.....	63
Tableau 29 évolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Plan, sur la ceinture 7h30 - 9h15	63
Tableau 30 : Evolution du CO ₂ , CO, FLOW et du NOx entre les 3 simulations, Namur 7h30 - 9h15..	64
Tableau 31 : Evolution du CO ₂ , CO, FLOW et du NOx entre les 3 simulations, corbeille 7h30 - 9h15	64

Tableau 32 : Evolution du CO ₂ , CO, FLOW et du NOx entre les 3 simulations, Ceinture 7h30 - 9h15	65
Tableau 33 : Emissions de la simulation CopIII Bus, quart d'heure par quart d'heure.....	66
Tableau 34 : Evolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Bus, sur Namur 7h30 - 9h15	66
Tableau 35 : Evolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Bus, dans la Corbeille 7h30 - 9h15.....	67
Tableau 36 : Evolution du CO ₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Bus, sur la ceinture 7h30 - 9h15	67
Tableau 37 : Fonctions requises pour le calcul des surémissions en fonction de la quantité émise β (g), la vitesse moyenne (V en km/h), la température ambiante (T en °c) et la distance parcourue (d et dc en km).	81

1. Introduction

1.1. Objectifs

L'objectif majeur de cette étude était de permettre la simulation simultanée du trafic et des émissions atmosphériques issues de celui-ci en mettant au point un modèle commun.

Habituellement, ces deux modes de simulation avaient des propriétés et des caractéristiques souvent incompatibles du fait des degrés de précision respectifs de chacun de ces types de modèles. L'état des connaissances dans chacun de ces secteurs ne sont pas les mêmes et au sein des modèles de simulation des émissions dues au trafic routier, la recherche n'en est pas au même point pour chaque type de véhicule et pour chaque type de polluant. Les modèles de simulation de trafic ont une souplesse plus grande que les modèles d'émissions puisqu'ils peuvent aller de modèles statiques grossiers à des modèles dynamiques très précis. C'était donc le choix du modèle de trafic qu'il fallait adapter au modèle de simulation d'émissions sélectionné et à l'état de la connaissance sur le sujet.

L'objectif premier était donc un objectif de cohérence mais il ne pouvait que succéder à un objectif de connaissance préalable. C'est pourquoi ce projet proposait la réalisation d'une collecte des études menées en Europe sur la modélisation des émissions atmosphériques des transports et sur les éventuels essais de modélisation combinée. Les recherches non transcrites en modèles ont également fait l'objet de notre inventaire. Le but était, bien entendu de déterminer le modèle le plus précis et le plus adéquat à un couplage avec un modèle de trafic.

Enfin, le troisième objectif était de réaliser la simulation sur une zone-test. Cette simulation supposait évidemment la collecte de toutes les données nécessaires aux modèles. Il s'agit de l'infrastructure, des caractéristiques de celle-ci (vitesse libre, capacité, sensibilité à la congestion,...), de données nécessaires à la calibration d'une matrice origines/destinations (caractéristiques socio-économiques, comptages, ...) pour le modèle de simulation de trafic. Tandis que le modèle de simulation des émissions nécessitait quant à lui des données sur le parc (nombre, âge, cylindrée,...) ainsi que d'autres données diverses (propriété des carburants, température moyenne,...).

1.2. Méthode

Le but était d'étudier la faisabilité de couplage d'un modèle de simulation de trafic avec un modèle de simulation des émissions atmosphériques, de réaliser un tel couplage et de l'appliquer à une zone test.

Cette proposition s'articulait donc en plusieurs étapes dont une brève description suit.

Il s'agissait, tout d'abord, de réaliser l'état de l'art des modèles de simulation d'émissions proposés sur le marché européen ou dans la littérature en général.

De cette analyse, a découlé le choix du modèle dont les caractéristiques d'input ont guidés la précision du modèle de simulation de trafic. En effet, à l'heure actuelle, les modèles de simulation de trafic peuvent être beaucoup plus fins que les modèles d'émissions. Il a fallu faire le choix d'un modèle de trafic dont le niveau de raffinement s'accordait au niveau de détails des modèles d'émissions. Par ailleurs, ne pas aller trop loin dans la finesse du

modèle a permis de modéliser des zones plus grandes sans augmenter de manière importante la collecte des données nécessaires.

Une zone test a été ensuite modélisée sous ces deux aspects : trafic et émissions des véhicules routiers. Ce test a nécessité la collecte de toutes les données requises aux deux modèles pour cette zone (infrastructures routières, caractéristiques de cette infrastructure, matrice origines-destinations, comptages,... ; parc des véhicules, âge, cylindrée, types,...).

En résumé les étapes du travail furent :

Partie 1 : Réalisation d'un inventaire des connaissances dans le domaine des émissions atmosphériques des transports routiers dans la Communauté Européenne.

- choix des polluants à recenser et des types d'émissions à considérer
- inventaire des modèles et études portant sur les émissions atmosphériques des transports routiers.

Partie 2 : mise en adéquation d'un modèle de simulation de trafic et d'un modèle d'émissions atmosphériques sur base des résultats de la collecte susmentionnée.

Partie 3 : Simulation combinée (trafic et émissions atmosphériques) réalisée sur une zone-test.

- Choix de la zone-test
- Récolte des données nécessaires aux modèles pour cette zone.
- Réalisation de la simulation.
- Validation de la simulation.
- Transfert des résultats aux autorités compétentes.

2. Méthodologie

2.1. Emissions atmosphériques des transports routiers

2.1.1. Choix des polluants à recenser et des types d'émissions à considérer

Les transports routiers émettent la plupart des polluants majeurs ainsi que des métaux lourds, ceux-ci soit à partir du carburant, soit à partir de l'usure des freins et des pneus [B 2].

Les polluants qui sont étudiés dans ce travail sont :

- les polluants majeurs répartis entre ceux responsables de la pollution acide tel le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote, ceux responsables de la pollution photochimique, précurseurs de l'ozone atmosphérique, tels les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone, enfin les gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et le protoxyde d'azote.
 - Les oxydes de soufre (SO₂)
 - Les oxydes d'azote (NO_x)
 - Les composés organiques volatils (hors méthane) (NMVOC)
 - Le monoxyde de carbone (CO)
 - Le dioxyde de carbone (CO₂)
 - Le protoxyde d'azote (N₂O)
- les particules fines des diesels (PM) et les dioxines (Diox) qui ont des effets sur la santé en particulier au niveau de l'apparition de cancers.

Nous n'avons pas intégré dans le modèle, pour simplifier les calculs et la présentation, les polluants tels le méthane (CH₄), l'ammoniac (NH₃) ou les métaux lourds suivants :

- | | | | |
|-----------|----|------------|----|
| • Cadmium | Cd | • Plomb | Pb |
| • Chrome | Cr | • Zinc | Zn |
| • Cuivre | Cu | • Sélénium | Se |
| • Nickel | Ni | | |

Mais ces polluants pourraient être calculés très facilement, à partir des consommations, si le besoin s'en faisait sentir.

2.1.2. Importance des émissions du transport par région

Afin de se rendre compte de l'importance du secteur du transport dans les émissions régionales, nous présentons ci-après les émissions engendrées par les transports routiers qui sont estimées à la demande des ministères régionaux (Région Wallonne [B 16] et en Région de Bruxelles-Capitale [B 20, B 21]). La situation est sensiblement différente suivant la région à laquelle on s'intéresse.

Il en ressort que les transports routiers sont responsables, en région wallonne de plus de 20% de la pollution acide, de plus de 33% des émissions de polluants photochimiques et de près de 15% des émissions de gaz à effet de serre. En Région de Bruxelles-Capitale, les transports émettent 30% du SO₂, 75% des NO_x et 34% du CO₂.

2.1.2.1. Le SO₂

2.1.2.1.1. Emissions

Près de 2 275 tonnes de SO₂ ont été émises en 1998 en Région de Bruxelles-Capitale et 62 000 tonnes en 1997 en Région Wallonne.

En Région de Bruxelles-Capitale, le secteur du transport était responsable de 8% des émissions et en Région Wallonne, il se limite à 3% du total .

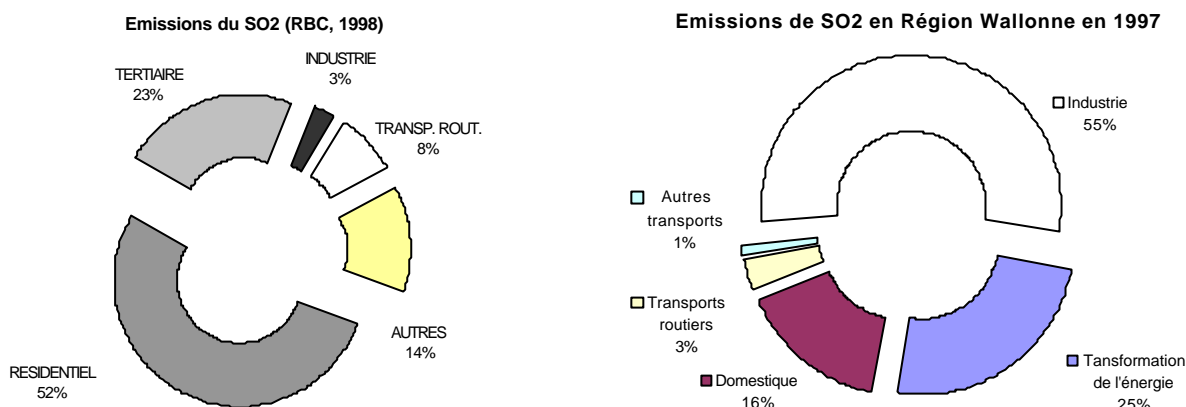


Figure 1 - Part des secteurs dans les émissions directes de SO₂

2.1.2.1.2. Evolution 1990-1998 du SO₂ du transport en Région de Bruxelles-Capitale

Les émissions de SO₂ ont chuté de 60 % de 1990 à 1998 pour le secteur transport, cette baisse est à attribuer aux normes plus restrictives de la teneur en soufre des carburants (octobre 1996).

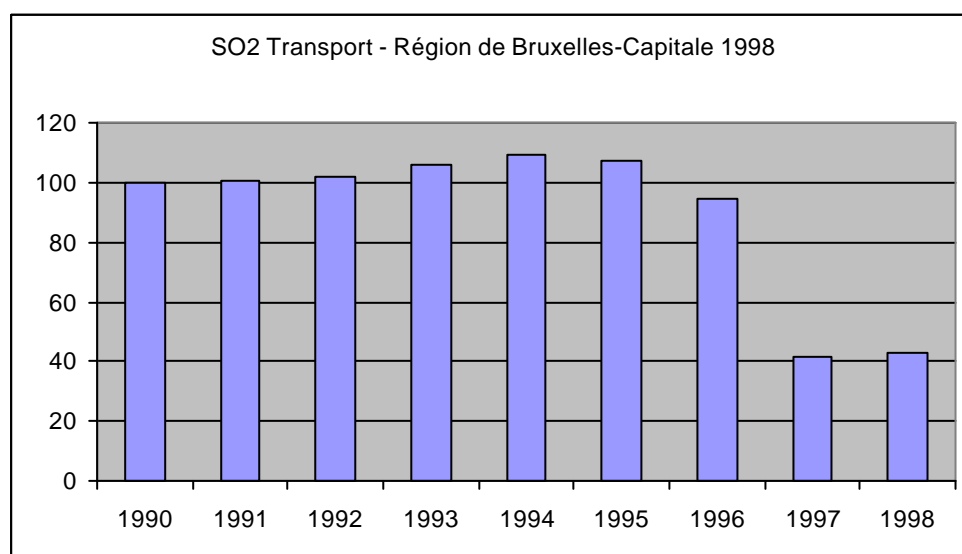


Figure 2 - Evolution des émissions directes de SO₂ de 1990 à 1998 (en indice 1990 = 100)

2.1.2.2. Le NO_x

2.1.2.2.1. Emissions

En 1998, un peu plus de 8 400 tonnes de NO_x ont été rejetées dans l'atmosphère en Région de Bruxelles-Capitale et en 1997 près de 127 000 tonnes en Région Wallonne.

Les transports routiers restent les principaux responsables des émissions de NO_x loin devant les autres secteurs et ce dans les deux régions.

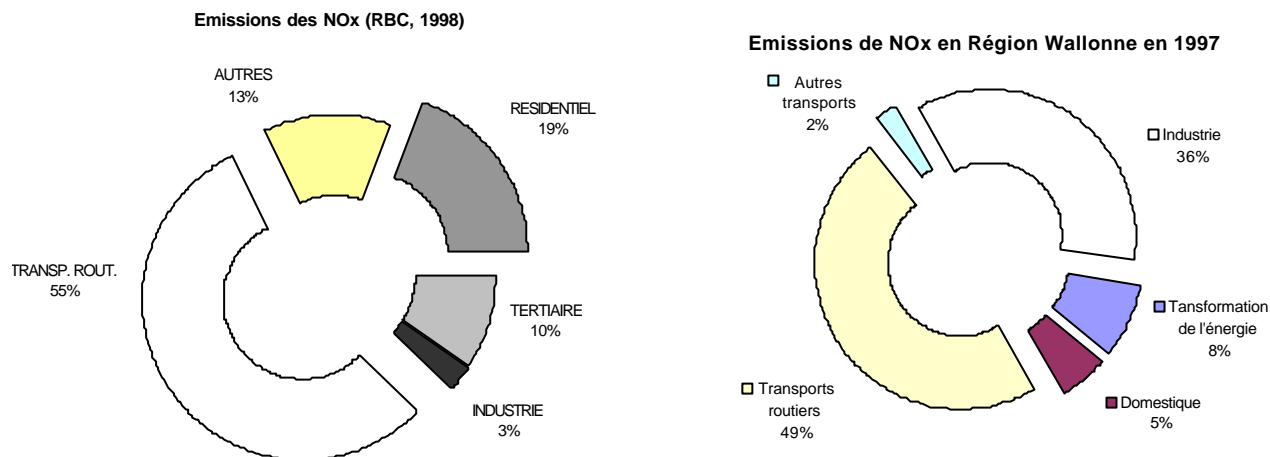


Figure 3 - Part des secteurs dans les émissions directes de NO_x

2.1.2.2.2. Evolution 1990-1998 du NO_x en Région de Bruxelles-Capitale

De 1990 à 1998, les émissions directes de NO_x ont diminué de 15 % dans le secteur du transport. Cette baisse est à attribuer à l'apparition des pots catalytiques.

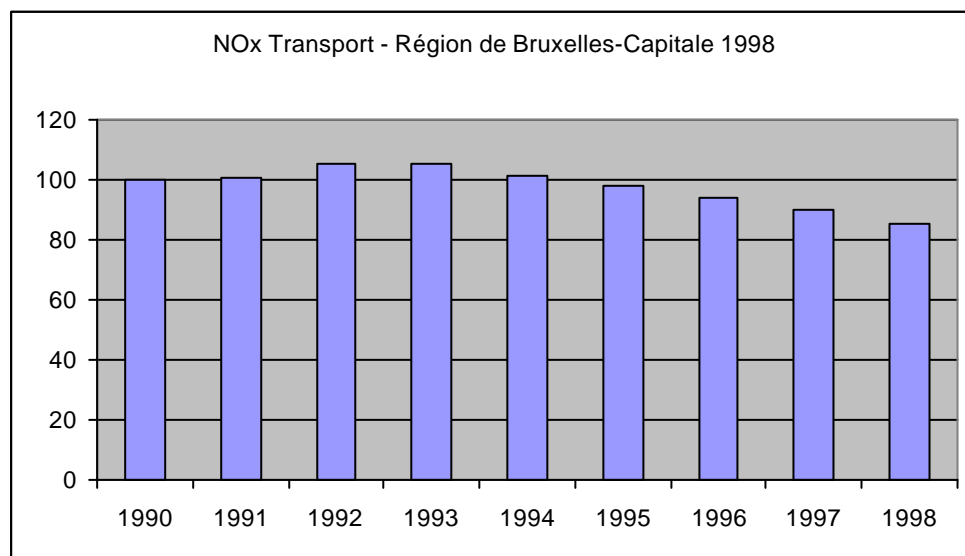


Figure 4 - Evolution des émissions directes de NO_x de 1990 à 1998 (en indice 1990 = 100)

2.1.2.3. Le CO₂

2.1.2.3.1. Emissions

Dans la Région de Bruxelles-Capitale, le transport est responsable de 18% des émissions directes de CO₂ avec 4.5 millions de tonnes émises globalement en 1998, en Région Wallonne, ce sont 46.3 millions de tonnes qui ont été émises en 1997 dont 17% par le transport routier.

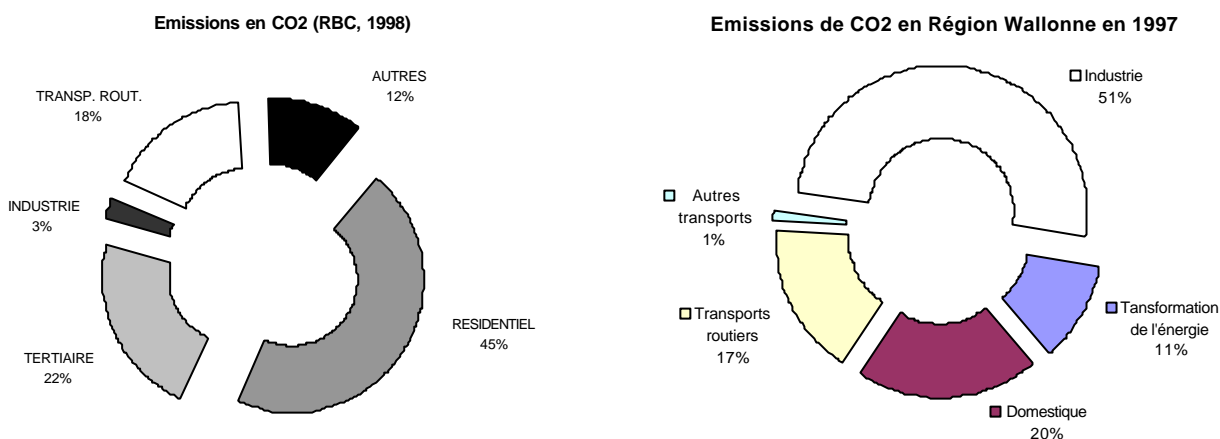


Figure 5 - Part des secteurs dans les émissions directes de CO₂

2.1.2.3.2. Evolution 1990-1998 du CO₂ en Région de Bruxelles-Capitale

De 1990 à 1998, les émissions directes de CO₂ ont augmenté de 8 % dans le secteur du transport. Cette augmentation est liée à l'accroissement du parc routier et du trafic.

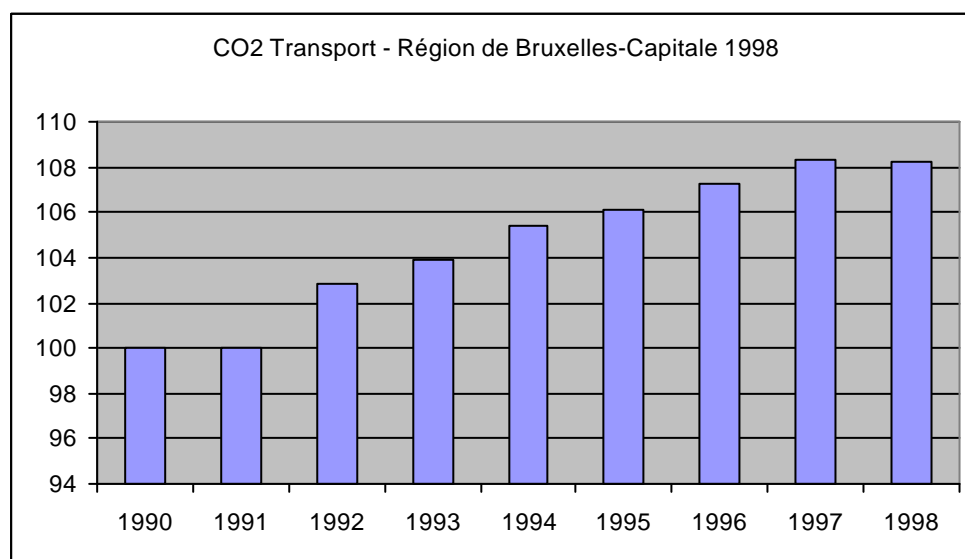


Figure 6 - Evolution des émissions directes de CO₂ de 1990 à 1998 (en indice 1990 = 100)

2.1.3. Inventaire des modèles et études portant sur les émissions atmosphériques des transports routiers

2.1.3.1. Recensement des modèles d'émissions des polluants précités

Nous avons effectué plusieurs démarches au début du projet.

1. Une recherche active sur Internet nous renseigne qu'il existe peu de sites européens qui étudient cette question, bien souvent seules les statistiques générales sont disponibles.

Quelques sites aux Etats-Unis nous proposent des modèles d'émissions mais ces derniers nous paraissent peu adaptés au parc européen. Néanmoins, nous avons récupéré un programme réalisé par l'Agence de Protection de l'Environnement de Californie "California Environmental Protection Agency" intitulé "Motor Vehicle Emission Inventory 7G (MVEI7G) model".

Ce programme sous Dos, d'utilisation peu pratique, nous permet cependant de comparer les facteurs d'émissions et les calculs avec nos modèles européens. Plusieurs fichiers de sortie se présentent en fonction du type de véhicule et de la technologie utilisée. Pour chaque polluant et par vitesse, les facteurs d'émission correspondants sont mentionnés.

De même, les quantités émises par jour pour chaque polluant en fonction du parc étudié (au niveau d'un "county") sont fournies également sous forme de fichiers.

2. Une étude suisse très complète, intitulée "émissions polluantes du trafic routier de 1950 à 2010" (OFEFP. Cahier de l'environnement 255), a été effectuée par l'Office Fédéral de l'Environnement, des forêts et du Paysage.

Le modèle d'émission utilisé résulte de mesures modales combinant des mesures en laboratoire et des enregistrements cinématiques sur route. Ces coefficients d'émissions moyens (pour la Suisse) sont disponibles dans le logiciel MICET (Manuel Informatisé des Coefficients d'Emission du Trafic routier de 1980 à 2010). Les simulations sont effectuées sur base du parc routier suisse et des moyennes nationales. Une possibilité existe également avec le parc routier allemand.

Nous pouvons sélectionner les types d'émissions à étudier : émissions à chaud, surémissions au départ et pertes par évaporation (après arrêt du moteur ou en stationnement). Par catégorie de véhicules et par année de référence, il est possible de connaître les facteurs d'émissions pour différents cycles de conduite.

Les fichiers de résultats sont également disponibles en format Access[®] et Excell[®].

3. Le modèle COPERT, issu du programme CORINE, renvoie pour les polluants étudiés à des formules du second degré en fonction de la vitesse des véhicules. Peu d'informations à ce jour nous renseignent sur les émissions à faible vitesse moyenne (< 10 km/h).

Ces formules sont données pour les différentes catégories de véhicules et pour une gamme de vitesse de référence. Pour chaque formule, un coefficient de régression est fourni, ce qui nous renseigne sur la qualité ou l'exactitude des informations fournies.

Au niveau de chaque pays européen, les données de base du parc routier et des températures sont fournies, dès lors il est possible d'imprimer les résultats dont quelques exemples sont présentés en annexe 3.

2.1.4. Choix de la méthode CORINAIR

L'Institut Wallon a porté son choix sur la méthode CORINAIR/COPERT pour diverses raisons.

- Elle est le fruit du travail d'un groupe d'experts européens du transport ayant chacun une véritable expérience en la matière. Elle est en quelque sorte l'intersection d'études européennes menées par des spécialistes. Le développement de COPERT est financé par l'Agence Européenne de l'Environnement dans le cadre des activités du Centre Européen des émissions atmosphériques ;

- Elle propose des classifications (véhicules et routes) poussées qui permettent une approche très fine du problème. De même, l'estimation des facteurs d'émissions et de consommation spécifique est particulièrement fouillée ;

- La première version utilisée (COPERT II) datait d'avril 1997 [B 23] et la nouvelle version (COPERT III) date de juillet 1999 [B 24]. La technologie des véhicules ainsi que les réglementations régulières obligent à l'utilisation d'une méthode récente ;

- Elle précise clairement la validité de chacun des paramètres qu'elle propose et met l'accent sur ses faiblesses ;

- Elle est européenne c'est-à-dire qu'elle intègre la diversité du paysage routier communautaire et, dès lors, offre une cohérence de méthodologie à chaque pays membre. Cette cohérence est primordiale pour la publication commune de chiffres d'émissions ou pour la comparaison de chiffres avec d'autres méthodes.

2.1.5. Le modèle COPERT

2.1.5.1. La formule de base

Le modèle COPERT se base, pour le calcul des émissions totales, sur l'application d'une formule simple :

Emissions (g) = facteur d'émission (g/km) * véhicules-kilomètres par an (km)

2.1.5.2. Les facteurs d'émissions

La méthode COPERT propose des approches différentes pour le calcul des facteurs d'émissions selon le polluant considéré. Les méthodes peuvent également différer selon la catégorie de véhicules pour un même polluant. De même, chaque type d'émissions bénéficie d'une méthode de calcul qui lui est propre. L'existence de ces multiples méthodes réside dans la connaissance bien variable qu'ont les spécialistes de chacun de ces polluants et de leurs comportements respectifs par catégorie de véhicules.

Il y a trois types d'émissions de polluants pour les transports routiers : les émissions à chaud, à froid et évaporatives.

Les émissions à chaud et à froid sont des émissions produites à l'échappement quand, selon les conventions de CORINAIR, la température de l'eau du moteur est respectivement supérieure et inférieure à 70 °C.

Les émissions évaporatives sont les émissions dues à l'évaporation du carburant dans le réservoir et le moteur. Elles ne sont pas prises en compte dans notre étude.

Les émissions à chaud sont calculées de multiples façons, (Voir Annexe 2 consacrée aux facteurs d'émissions), en fonction du polluant et de la catégorie de véhicules considérée.

Nous pouvons toutefois déjà dire que, par catégorie de véhicules, les facteurs d'émissions sont soit calculés comme des fonctions dépendantes de la vitesse, soit estimés sur base de la consommation de carburant, soit représentés par des constantes.

Les émissions à froid étant un surplus d'émissions dû à la mise en régime du moteur, nous appliquons, pour les calculer, un coefficient "majorateur" aux émissions à chaud (voir chapitre 2.1.5.3).

2.1.5.3. Le calcul des surémissions à froid

Les formules utilisées sont reprises de M. JOUMARD de l'INRETS, les formules de COPERT ne convenant pas à un modèle de simulation dynamique.

La formule générale des surémissions en grammes est : $\beta \cdot [f(V) + g(T) - 1] \cdot h(\delta)$ où

$$h(\delta) = \frac{[1 - \exp(-a \cdot d/dc(V))]}{(1 - \exp(-a))}$$

V la vitesse moyenne km/h

T la température moyenne, départ du moteur

d la distance totale parcourue et dc la distance parcourue avec un moteur froid

β une valeur variant selon le type de véhicule.

Les paramètres de cette formule dépendent du type de véhicule, voiture essence avec ou sans catalyseur et voiture diesel. Les 5 « polluants » dont nous disposons de valeurs sont le CO₂, CO, NO_x, les HC et la consommation de carburant.

2.1.5.4. Les véhicules

Les véhicules sont classés en fonction de leur type, de leur carburant, de leur cylindrée et de leur âge.

Le classement selon le type est le suivant :

- voitures personnelles « léger » (< 2.5 tonnes)
- autobus et autocars (bus)

Le classement par carburant est : essence, diesel et LPG.

Le classement par cylindrée est :

- pour les voitures personnelles à essence :
 - < 1.4 litres
 - de 1.4 à 2.0 litres
 - > 2.0 litres
- pour les voitures personnelles diesel :
 - < 2.0 litres
 - > 2.0 litres

Le classement par âge divise le parc des voitures personnelles en fonction de l'appartenance de leur année de première mise en circulation à l'un des groupes suivants :

- PRE ECE (avant 1970)
- ECE 15/00-01 (de 1970 à 1976)
- ECE 15/02-03 (de 1977 à 1986)
- ECE 15/04 (de 1987 à 1992)
- 91/441/EEC (de 1993 à 1996)
- 94/12/EEC (à partir de 1997)

Ces groupes correspondent à des normes européennes successives portant sur des obligations techniques imposées aux véhicules.

2.2. Le modèle de simulation PACSIM

Le modèle utilisé pour les différentes simulations est PACSIM, un modèle de simulation de trafic. Dans cette section, nous allons simplement parcourir les principales caractéristiques du modèle. Le lecteur souhaitant davantage d'informations est invité à lire les références [B 4], [B 5] et [B 6].

2.2.1. Modèle urbain

PACSIM est principalement un modèle pour l'affectation du trafic simulant le déplacement de personnes dans des zones urbaines. Il se focalise sur le mouvement des véhicules le long des rues et à travers les carrefours du réseau. Les carrefours sont des points cruciaux lorsque l'on analyse et simule le trafic dans une zone urbaine : c'est pourquoi une très grande attention a été portée à la modélisation des phases des feux tricolores, des règles de priorité ainsi qu'aux mouvements autorisés à certains carrefours (par exemple, certains mouvements de 'tourne à gauche' sont interdits). Nous reprendrons plus en détails dans une section ultérieure la façon dont sont modélisés les différents types de carrefours.

Un autre élément important pour avoir une simulation réaliste est de faire dépendre la vitesse d'un véhicule sur un arc en fonction de la densité de véhicules sur ce même arc. De plus, si la densité de trafic augmente, la capacité des carrefours et des rues peut être dépassée et dans ce cas, des files de véhicules peuvent se former et bloquer des axes adjacents. Dans PACSIM, la vitesse des véhicules est calculée selon la formule de Davidson [B 25 – page 359] (formule largement répandue dans les modèles de simulation et donnant la vitesse d'un véhicule selon le nombre de véhicules présents sur l'arc et la capacité de celui-ci).

Coupler un modèle d'émissions avec un modèle urbain nous semblait judicieux car la plupart des problèmes récents se déroulent dans les grandes agglomérations.

2.2.2. Modèle dynamique

PACSIM n'évalue pas un flot moyen de véhicules sur chacun des arcs mais simule comment les conditions de trafic évoluent durant la période de simulation. L'utilisateur spécifie cette dernière (ici, il s'agira de la période de pointe du matin) qui peut être divisée en tranches horaires¹ à la fin desquelles toute une série d'informations sont fournies pour l'ensemble des arcs du réseau². Ce caractère dynamique permet de voir l'évolution temporelle des flux et des émissions sur les arcs pendant la période de simulation.

Le caractère dynamique du modèle implique que nous disposions d'une matrice origines destinations (O/D) dynamique en ce sens qu'elle nous fournisse, outre l'ensemble des déplacements, l'heure de départ pour chacun d'eux.

¹ Les tranches horaires ont une durée d'un quart d'heure dans les simulations que nous avons effectuées.

² Les informations concernent le nombre de véhicules ayant traversé l'arc durant la tranche horaire, le nombre de véhicules se trouvant sur l'arc juste à la fin de la tranche ainsi que le nombre de véhicules écoulés depuis le début de la simulation. Bien sûr, toutes les informations concernant les consommations et les émissions atmosphériques sont également fournies pour chaque arc à la fin de chaque tranche. Ce sont ces résultats bruts qui seront traités par le programme Access décrit plus loin.

La notion de 'event-driven' modèle est utilisée pour simuler le temps c'est-à-dire que l'écoulement du temps est vu comme une succession d'événements. Les événements peuvent être de deux types : soit ce sont des événements physiques se déroulant dans le réseau lui-même (par exemple, un changement de couleur à un feu, un bus à un arrêt chargeant et déchargeant des passagers, une voiture à un carrefour devant effectuer une manœuvre pour quitter celui-ci, des travaux routiers, ...), soit ils sont liés aux transferts d'informations sur le trafic dont nous dirons quelques mots à la section 2.2.5.

2.2.3. Modèle comportemental

Afin de refléter au mieux les différentes perceptions qu'ont les usagers d'un endroit spécifique du réseau, selon qu'ils en soient proches ou éloignés, PACSIM utilise une décomposition hiérarchique du réseau en trois. Ces niveaux correspondent aux réseaux *principal*, *stratégique* et *détaillé*, respectivement du plus agrégé vers le plus désagrégé. En effet, le modèle suppose que l'utilisateur ne connaît pas tout le réseau en détails et cette représentation en plusieurs niveaux joue bien évidemment un rôle non négligeable dans la définition de *connaissance du réseau par l'utilisateur* mais aussi dans d'autres parties du modèle. La recherche du plus court chemin pour l'utilisateur se fait en réalité dans le réseau perçu par celui-ci. Ce réseau perçu est établi selon les règles suivantes :

- Le réseau est constitué d'une vue détaillée des arcs aux alentours des *points d'ancrage* propres à chaque usager c.-à-d. les parties du réseau très bien connues de l'utilisateur (typiquement, les zones proches de l'origine et de la destination).
- Entre ces zones d'origine et de destination, la connaissance de l'utilisateur tend à décroître avec la distance et se limite donc aux réseaux stratégique ou principal selon la distance.
- La recherche du chemin le plus avantageux se fait alors dans ce réseau propre à chaque usager selon certaines règles comportementales et selon les événements qui peuvent intervenir dans le réseau (accidents, travaux, congestion, ...).

2.2.4. Modèle multimodal

Un autre aspect de PACSIM est son caractère multimodal. Non seulement, il permet de choisir un mode de transport selon certaines règles mais il permet aussi de gérer des systèmes tels le Park-and-Ride ou les parkings de dissuasion, i.e. des systèmes où l'utilisateur laisse son véhicule privé sur un parking pour emprunter une navette vers le centre-ville. De plus, il est tenu compte dans PACSIM du fait que les véhicules privés et les transports publics ne sont pas complètement indépendants les uns des autres puisqu'ils partagent (du moins, en partie) le même réseau routier.

Nous pouvons donc envisager des scénarios où nous pourrions voir les effets d'un transfert modal du véhicule privé vers le transport public.

2.2.5. Modèle muni d'un système d'informations pour les usagers

PACSIM contient un système d'informations à l'attention des conducteurs. Sans entrer dans une description détaillée et technique (cfr. [B 4] pour de plus amples renseignements), nous pouvons simplement décrire le processus de détection et de transmission de l'information. Un certain nombre de détecteurs (caméras, agents de police ou autre appareillage) sont placés sur le réseau routier et sont capables de détecter toute une série d'événements

(accidents, travaux routiers, congestion, etc.) selon la sensibilité et l'emplacement de chacun des détecteurs. Ensuite, l'information ainsi détectée est envoyée vers un centre de contrôle chargé de gérer l'ensemble des informations collectées selon leur importance. Ce centre transmet ensuite l'information aux usagers via différents moyens tels les panneaux à message variable ou le radioguidage. Bien évidemment, il est tenu compte de la fiabilité des détecteurs mais également des délais de détection et de transmission. De plus, l'aspect comportemental implémenté dans PACSIM envisage l'éventuelle ou la partielle non-prise en compte des informations distribuées aux usagers.

2.2.6. Modélisation des carrefours

Les nœuds (carrefours) sont identifiés par un nombre à cinq chiffres et les liens (rues) par un nombre à dix chiffres, concaténation de l'identifiant du nœud d'origine et de celui de destination.

Dans les paragraphes qui suivent, nous allons détailler les différents types de carrefours (prioritaires, à feux ou ronds-points) et décrire la façon dont leurs caractéristiques sont spécifiées dans PACSIM.

2.2.6.1. Les carrefours à priorité

Nous illustrerons chacun des différents cas par un exemple concret. Pour les carrefours à priorité, nous choisissons les nœuds 12160 et 20228. Ces nœuds représentent des carrefours situés l'un à côté de l'autre, le long de la Sambre et du Parc Louise Marie (voir Figure 7).

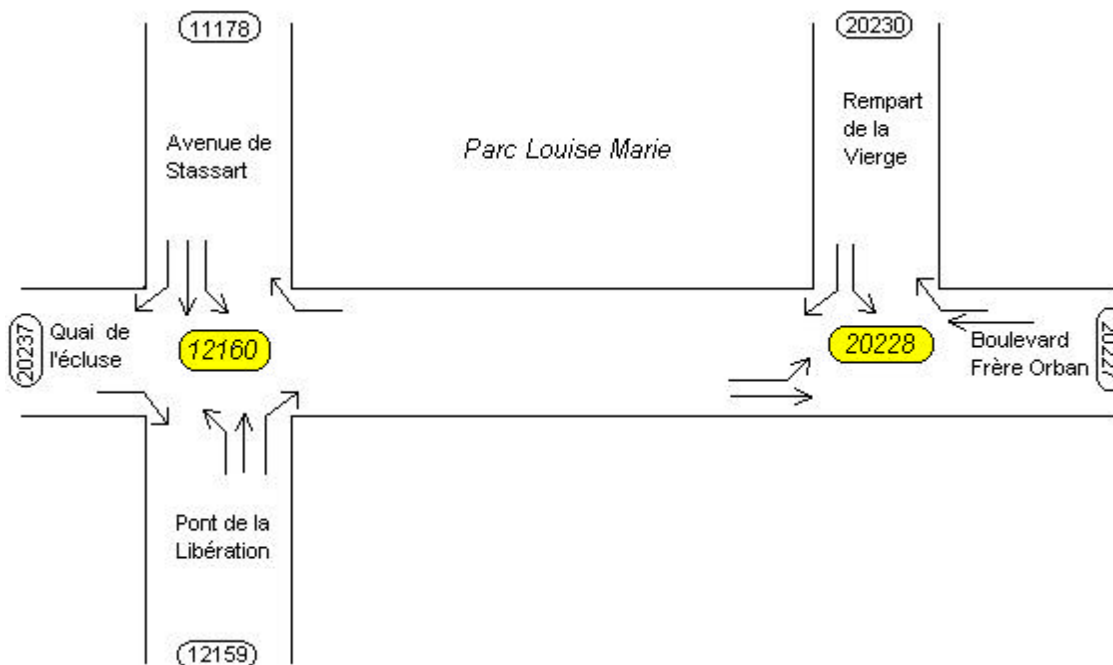


Figure 7 - Schéma de carrefours à priorité

Les autres nombres représentent les carrefours les plus proches de 12160 et 20228. Par exemple, le nœud 20230 est formé par l'intersection du Rempart de la Vierge avec la Rue Blondeau. Ces nombres nous permettront d'identifier les directions.

La première chose à définir par rapport aux carrefours, ce sont les mouvements qu'il est possible d'effectuer (si le carrefour est muni d'une interdiction de tourner à gauche ou d'une obligation d'aller à droite, par exemple). Ces mouvements sont définis selon la syntaxe suivante :

```
JUNCTION XXXXX
FROM YYYYY TO ZZZZZ
```

Ceci revient à dire qu'au carrefour XXXXX, il est possible d'aller de YYYYY vers ZZZZZ.

Le Tableau 1 ci-dessous reprend les mouvements autorisés pour les deux carrefours de notre exemple. Nous constatons que pour le carrefour en bas du Rempart de la Vierge (20228), tous les mouvements sont possibles tandis que pour le carrefour 12160, lorsque l'on vient des rues transversales (20228 et 20237), nous sommes obligés de tourner à droite.

JUNCTION 12160	JUNCTION 20228
FROM 11178 TO 12159	FROM 12160 TO 20227
FROM 11178 TO 20228	FROM 12160 TO 20230
FROM 11178 TO 20237	FROM 20227 TO 12160
FROM 12159 TO 11178	FROM 20227 TO 20230
FROM 12159 TO 20228	FROM 20230 TO 12160
FROM 12159 TO 20237	FROM 20230 TO 20227
FROM 20228 TO 11178	
FROM 20237 TO 12159	

Tableau 1 : Mouvements possibles aux carrefours 12160 et 20228

Définir uniquement les mouvements n'est pas suffisant car cela reviendrait à laisser passer tout le monde en même temps. Il faut donc définir les priorités pour chaque carrefour. On indique alors pour chaque mouvement possible, quels sont les mouvements prioritaires par rapport à celui-ci (s'il en existe). La syntaxe est la suivante :

```
JUNCTION XXXXX
FROM YYYYY TO ZZZZZ
PRIORITY FROM WWWW TO YYYYY
```

Ceci veut dire qu'au carrefour XXXXX, les véhicules venant de YYYYY et allant vers ZZZZZ doivent céder la priorité aux véhicules venant de WWWW et allant vers YYYYY.

JUNCTION 12160	JUNCTION 20228
FROM 11178 TO 12159	FROM 12160 TO 20227
FROM 11178 TO 20228	FROM 12160 TO 20230
PRIORITY FROM 12159 TO 11178	PRIORITY FROM 20227 TO 12160
PRIORITY FROM 12159 TO 20228	PRIORITY FROM 20227 TO 20230
FROM 11178 TO 20237	FROM 20227 TO 12160
FROM 12159 TO 11178	PRIORITY FROM 20230 TO 12160
FROM 12159 TO 20228	PRIORITY FROM 20230 TO 20227
FROM 12159 TO 20237	FROM 20227 TO 20230
PRIORITY FROM 11178 TO 12159	FROM 20230 TO 12160
PRIORITY FROM 11178 TO 20237	FROM 20230 TO 20227
FROM 20228 TO 11178	PRIORITY FROM 12160 TO 20230
PRIORITY FROM 12159 TO 11178	PRIORITY FROM 12160 TO 20227
FROM 20237 TO 12159	
PRIORITY FROM 11178 TO 12159	

Tableau 2 : Description des priorités aux carrefours 12160 et 20228

Pour notre exemple, le Tableau 2 reprend les priorités des deux carrefours. Nous pouvons voir notamment que le carrefour 20228 est un carrefour géré par la règle de priorité de droite

classique tandis que, pour le nœud 12160, nous voyons que les véhicules venant des rues transversales (20228 et 20237) doivent céder la priorité à ceux qui circulent sur l'Avenue de Stassart et le Pont de la Libération. Cela correspond aux *Stops*, réels et physiques placés à ces endroits.

2.2.6.2. Les carrefours gérés par des feux de signalisation

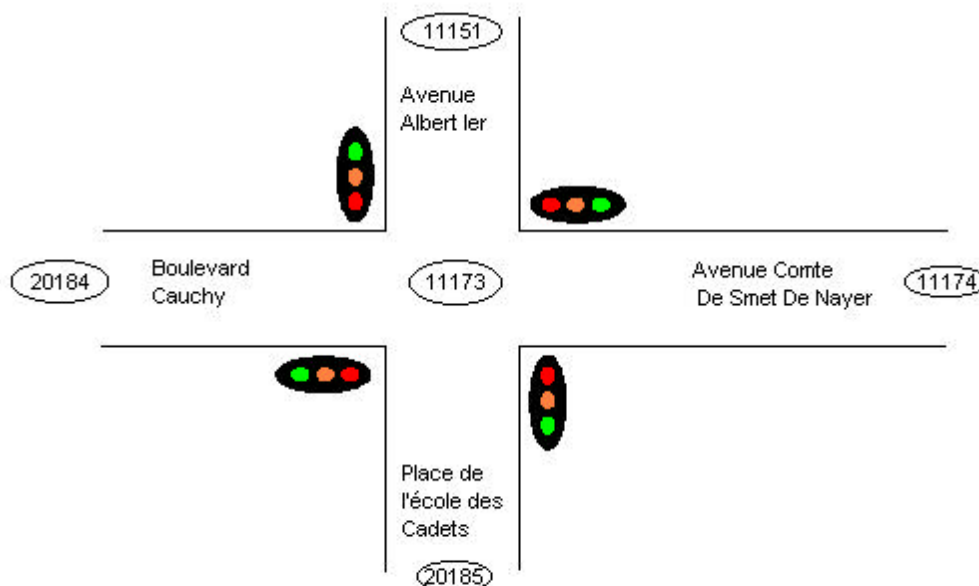


Figure 8 - Schéma d'un carrefour géré par des feux de signalisation

Pour les feux, nous choisissons le nœud 11173, intersection du Boulevard Cauchy avec l'Avenue Albert 1er entre autres (voir Figure 8).

Les autres nombres représentent les carrefours les plus proches du 11173. Par exemple, le nœud 20184 est formé par l'intersection du Boulevard Cauchy avec la Rue des Bourgeois. Ces nombres nous permettront d'identifier les directions.

JUNCTION 11173	
FROM 11151	TO 11174
FROM 11151	TO 20184
FROM 11151	TO 20185
FROM 11174	TO 11151
FROM 11174	TO 20184
FROM 20184	TO 11151
FROM 20184	TO 11174
FROM 20184	TO 20185
FROM 20185	TO 11151
FROM 20185	TO 11174
FROM 20185	TO 20184

Tableau 3 : Description des mouvements autorisés au nœud 11173

Dans le Tableau 3 ci-dessus, les différents mouvements autorisés au nœud 11173 sont repris. Nous pouvons constater que tout mouvement est possible, excepté de 11174 vers 20185, i.e. de tourner à gauche à l'Avenue Comte de Smet de Nayer pour emprunter la Place de l'Ecole des Cadets.

En plus de définir les priorités comme précédemment (voir section 2.2.6.1), nous décomposons la phase complète du feu en différentes phases vertes indiquant quels sont les véhicules ayant la possibilité de se mouvoir. La durée des différentes phases (vertes et oranges) est aussi indiquée ainsi que les mouvements prioritaires.

```
JUNCTION XXXXX
  AT_BEGIN 0
    GREEN 30 AMBER 5
      FROM YYYYY TO WWWW
      FROM YYYYY TO ZZZZ
      FROM YYYYY TO VVVV
        PRIORITY FROM ZZZZ TO VVVV
        PRIORITY FROM ZZZZ TO YYYYY
      FROM ZZZZ TO VVVV
      FROM ZZZZ TO YYYYY
```

Ceci revient à dire qu'au carrefour XXXXX, la première phase verte dure 30 secondes (la phase orange l'accompagnant dure, elle, 5 secondes). Durant cette phase, les véhicules venant de YYYYY et ZZZZ peuvent se déplacer. Seuls les véhicules allant de YYYYY vers VVVV doivent céder la priorité aux véhicules venant de ZZZZ. La phase est rouge pour les véhicules venant de WWWW et de VVVV. Regardons ce que cela donne pour le nœud 11173.

```
JUNCTION 11173
  AT_BEGIN 0
    GREEN 30 AMBER 5
      FROM 20184 TO 20185
      FROM 20184 TO 11174
      FROM 20184 TO 11151
        PRIORITY FROM 11174 TO 11151
        PRIORITY FROM 11174 TO 20184
      FROM 11174 TO 11151
      FROM 11174 TO 20184
    GREEN 15 AMBER 5
      FROM 20184 TO 11151
      FROM 11151 TO 20184
    GREEN 25 AMBER 5
      FROM 11151 TO 20184
      FROM 11151 TO 20185
      FROM 11151 TO 11174
        PRIORITY FROM 20185 TO 11151
        PRIORITY FROM 20185 TO 11174
      FROM 20185 TO 11174
      FROM 20185 TO 11151
      FROM 20185 TO 20184
        PRIORITY FROM 11151 TO 20185
        PRIORITY FROM 11151 TO 20184
    GREEN 15 AMBER 5
      FROM 11151 TO 20184
      FROM 11151 TO 20185
      FROM 11151 TO 11174
      FROM 11174 TO 11151
```

Tableau 4 : Description des différentes phases des feux au nœud 11173

Nous constatons que le cycle complet des feux à ce carrefour se divise en quatre phases vertes distinctes. La première libère les véhicules venant du Boulevard Cauchy et de l'Avenue Comte De Smet De Nayer. La seconde, plus courte, autorise uniquement deux mouvements : aller du Boulevard Cauchy vers l'Avenue Albert 1er et inversement. La phase

suivante libère les véhicules venant de l'Avenue Albert 1er et de la Place de l'Ecole des Cadets. Les priorités correspondent aux personnes souhaitant tourner à gauche et devant céder le passage aux véhicules venant d'en face. La dernière phase est réservée aux véhicules venant de l'Avenue Albert 1er ainsi qu'aux véhicules venant de l'Avenue DeSmet De Nayer et se dirigeant Avenue Albert 1er. Le cycle peut alors reprendre avec la première phase verte.

2.2.6.3. Les giratoires

Les ronds-points sont des cas particuliers de carrefours à priorité. Un rond-point n'est pas représenté par un seul nœud mais par un ensemble de nœuds (un pour chaque entrée/sortie du rond-point). Dans notre modèle, les ronds-points sont divisés en deux catégories : ceux à une seule bande et ceux à plusieurs bandes.

Dans le premier cas, chaque rond-point à une bande est modélisé par un ensemble de nœuds (un pour chaque entrée/sortie du rond-point) (voir Figure 9).

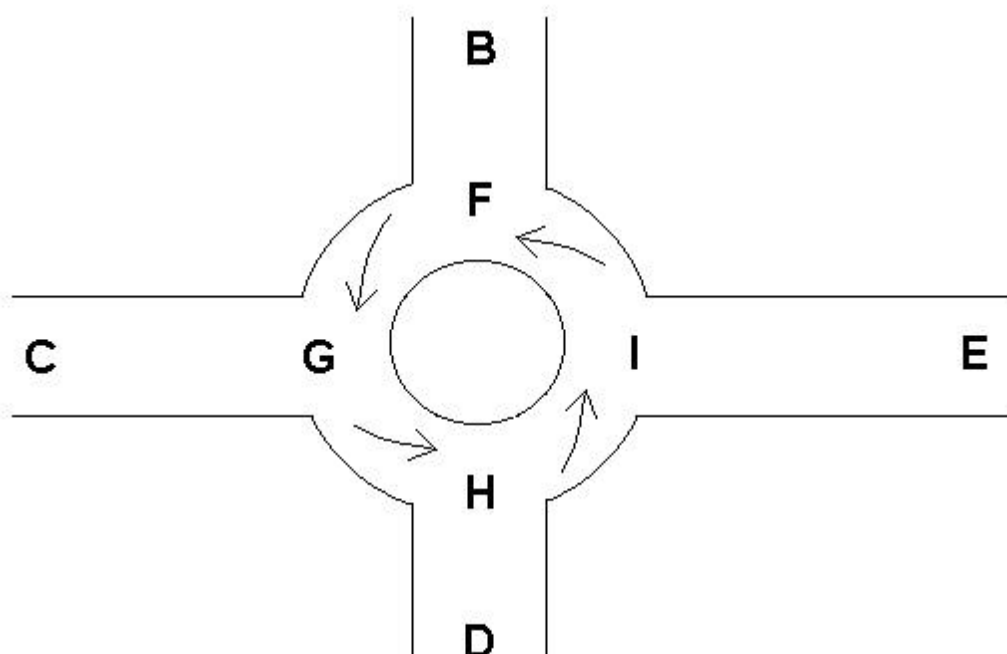


Figure 9 - Modélisation des ronds-points à une bande

Les priorités et les mouvements autorisés sont définis comme suit :

<p>JUNCTION F FROM B TO G PRIORITY FROM I TO G FROM I TO G FROM I TO B</p>	<p>JUNCTION G FROM C TO H PRIORITY FROM F TO H FROM F TO H FROM F TO C</p>
<p>JUNCTION H FROM D TO I PRIORITY FROM G TO I FROM G TO I FROM G TO D</p>	<p>JUNCTION I FROM E TO F PRIORITY FROM H TO F FROM H TO F FROM H TO E</p>

Tableau 5 : Mouvements et priorités d'un rond-point à une bande

Modéliser les ronds-points à plusieurs bandes comme cela a été fait dans le cas précédent n'est pas très réaliste. En effet, si au niveau des priorités, cela colle bien avec la réalité, cette façon de procéder engendre dans la simulation un usage abusif des bandes intérieures des ronds-points et par conséquent, entraîne une surestimation de la capacité du rond-point. Pour remédier à cela, nous avons installé des *pseudo noeuds* sur les bandes intérieures (en effet, contrairement aux *noeuds*, ils ne correspondent pas à des intersections physiquement présentes dans le réseau) et des *pseudo bandes* joignant ces pseudo noeuds aux *noeuds* d'entrée/sortie (voir Figure 10). En travaillant ensuite sur les coûts des différents mouvements (passer d'une bande intérieure à une extérieure ou inversement, entrer ou sortir du rond-point, ...), nous sommes arrivés à modéliser les mouvements dans un rond-point en gardant une certaine cohérence (pas de mouvements incessants d'une bande à une autre, pourcentage correct d'utilisateurs des bandes intérieures).

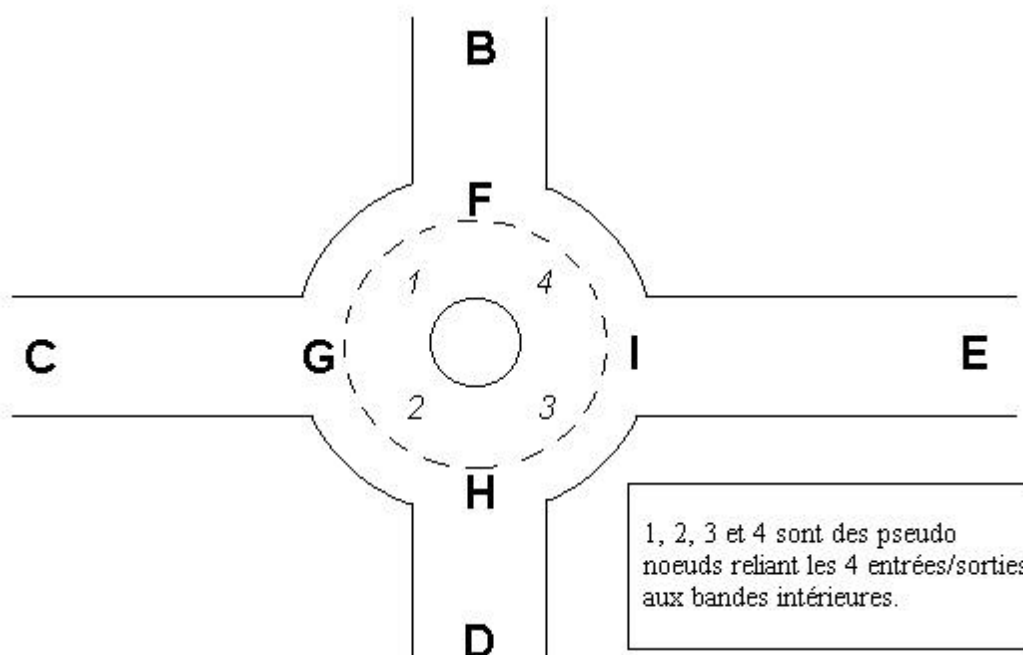


Figure 10 - Modélisation d'un rond-point à plusieurs bandes

Les priorités et les mouvements autorisés en seraient les suivants :

<p>JUNCTION F</p> <p>FROM B TO G PRIORITY FROM I TO G PRIORITY FROM 4 TO G</p> <p>FROM B TO 1 PRIORITY FROM I TO G PRIORITY FROM I TO 1 PRIORITY FROM 4 TO G</p> <p>FROM I TO G FROM I TO 1 FROM I TO B FROM 4 TO B PRIORITY FROM I TO B PRIORITY FROM I TO G PRIORITY FROM I TO 1</p> <p>FROM 4 TO G PRIORITY FROM I TO G PRIORITY FROM I TO 1</p>	<p>JUNCTION G</p> <p>FROM C TO H PRIORITY FROM F TO H PRIORITY FROM 1 TO H</p> <p>FROM C TO 2 PRIORITY FROM F TO H PRIORITY FROM F TO 2 PRIORITY FROM 1 TO H</p> <p>FROM F TO H FROM F TO 2 FROM F TO C FROM 1 TO C PRIORITY FROM F TO C PRIORITY FROM F TO H PRIORITY FROM F TO 2</p> <p>FROM 1 TO H PRIORITY FROM F TO H PRIORITY FROM F TO 2</p>
<p>JUNCTION H</p> <p>FROM D TO I PRIORITY FROM G TO I PRIORITY FROM 2 TO I</p> <p>FROM D TO 3 PRIORITY FROM G TO I PRIORITY FROM G TO 3 PRIORITY FROM 2 TO I</p> <p>FROM G TO I FROM G TO 3 FROM G TO D FROM 2 TO D PRIORITY FROM G TO D PRIORITY FROM G TO I PRIORITY FROM G TO 3</p> <p>FROM 2 TO I PRIORITY FROM G TO I PRIORITY FROM G TO 3</p>	<p>JUNCTION I</p> <p>FROM E TO F PRIORITY FROM H TO F PRIORITY FROM 3 TO F</p> <p>FROM E TO 4 PRIORITY FROM H TO F PRIORITY FROM H TO 4 PRIORITY FROM 3 TO F</p> <p>FROM H TO F FROM H TO 4 FROM H TO E FROM 3 TO E PRIORITY FROM H TO E PRIORITY FROM H TO F PRIORITY FROM H TO 4</p> <p>FROM 3 TO F PRIORITY FROM H TO F PRIORITY FROM H TO 4</p>
<p>JUNCTION 1</p> <p>FROM F TO 2 PRIORITY FROM 4 TO 2 PRIORITY FROM 4 TO G</p> <p>FROM 4 TO G FROM 4 TO 2</p>	<p>JUNCTION 2</p> <p>FROM G TO 3 PRIORITY FROM 1 TO 3 PRIORITY FROM 1 TO H</p> <p>FROM 1 TO H FROM 1 TO 3</p>
<p>JUNCTION 3</p> <p>FROM H TO 4 PRIORITY FROM 2 TO 4 PRIORITY FROM 2 TO I</p> <p>FROM 2 TO I FROM 2 TO 4</p>	<p>JUNCTION 4</p> <p>FROM I TO 1 PRIORITY FROM 3 TO 1 PRIORITY FROM 3 TO F</p> <p>FROM 3 TO F FROM 3 TO 1</p>

Tableau 6 : Mouvements et priorités d'un giratoire à plusieurs bandes

2.3. Mise en adéquation des modèles

2.3.1. Adaptation du modèle PACSIM aux caractéristiques des modèles d'émissions

Avant de combiner PACSIM aux modèles d'émissions et de surémissions, celui-ci ne faisait aucune distinction entre les véhicules privés. Il n'existait qu'une seule catégorie : les véhicules privés. Or, nous l'avons vu lors de la présentation du modèle COPERT (section 2.1.5.4), le modèle d'émissions distingue les véhicules privés selon le type de carburant, la cylindrée et l'année de mise en circulation.

Afin d'introduire ces caractéristiques liées aux véhicules dans le modèle de simulation du trafic, nous avons attribué aléatoirement un type (carburant, cylindrée et âge) à chaque véhicule de notre demande tout en respectant la distribution réelle du parc automobile de notre zone test.

Une autre difficulté était d'intégrer les départs à froid. En effet, comment différencier dans notre demande, les véhicules qui partent avec un moteur froid et les autres ? Nous avons posé l'hypothèse que ceux partant de l'intérieur du réseau avaient un moteur froid tandis que ceux qui pénétraient dans le réseau le faisaient avec un moteur déjà suffisamment chaud pour ne plus tenir compte des éventuelles surémissions.

2.3.2. Intégration du modèle d'émissions dans le modèle PACSIM

Dans la première partie de l'étude, nous appliquions les formules de COPERT pour le calcul des émissions atmosphériques sur chaque lien (rue) du modèle et nous ajoutons le calcul des émissions à l'arrêt (feux rouges, bouchons,...).

Des discussions apportées lors de la journée d'étude [B 7] et de l'utilisation de COPERT III, il est apparu que les formules de COPERT doivent être utilisées sur une période de temps et une longueur plus grande que la traversée d'une simple rue.

En effet, le manuel de COPERT souligne que « en principe, la méthodologie COPERT III peut être utilisée pour l'estimation des émissions du trafic à un niveau d'agrégation relativement élevé, tant temporellement que spatialement, par exemple, pour un an à l'échelle d'un pays. Néanmoins, il a été démontré que la méthodologie est également applicable à un degré de précision suffisant à une résolution plus élevée par exemple pour l'inventaire des émissions urbaines à l'échelle spatiale d'un km² et pour une période d'une heure. »

Le modèle a dès lors été modifié de la façon suivante : nous attendons que le véhicule ait parcouru une distance suffisamment grande pour que les formules de COPERT soient applicables. Une fois cette distance parcourue, nous pouvons évaluer la vitesse moyenne du véhicule. Cette vitesse tient compte des éventuels moments où le véhicule est à l'arrêt. Lorsque la vitesse a été calculée, nous pouvons évaluer les niveaux de pollution de chaque polluant selon la méthodologie décrite en 2.1.5. Finalement, nous redistribuons les émissions sur chaque arc traversé par le véhicule selon le temps nécessaire à sa traversée.

Nous avons effectué des simulations avec des distances différentes (1.5 km, 3 km et 5 km) et en comparant les différents résultats obtenus (voir annexe ?), il ressort de notre étude qu'il n'y a pas de différence significative entre les émissions calculées quelle que soit la distance prise en considération.

Pour des raisons d'adéquation avec le modèle COPERT III, nous avons choisi d'intégrer les émissions lorsque la distance parcourue est de 5 km.

2.3.3. Intégration du modèle de surémissions à froid dans PACSIM

Nous avons choisi le modèle de surémissions à froid de l'INRETS dont la méthodologie est reprise en section 2.1.5.3 à la page 20. Notre façon de procéder pour évaluer les surémissions est similaire à celle employée pour les émissions. Nous attendons simplement que le véhicule soit arrivé à sa destination pour pouvoir évaluer sa vitesse et la distance à froid. Connaissant la distance totale parcourue et la température ambiante (supposée constante durant la période entière de la simulation), nous calculons les surémissions que nous redistribuons, non plus sur chaque arc de la distance totale, mais sur chaque arc de la distance à froid - toujours selon le temps nécessaire à la traversée de l'arc.

3. Bilan des résultats

3.1. Choix de la zone test

Le choix de la zone test, en fonction des particularités du modèle combiné, s'est porté sur la ville de Namur. En effet, les données dont disposaient les deux groupes sur Namur étaient suffisamment importantes pour permettre de faire directement des simulations. Bien sûr, afin de calibrer le modèle, il nous a fallu procéder à une remise à jour de certaines données mais ce processus est moins long et moins coûteux que celui d'acquies toutes les données nécessaires au modèle (longueur, largeur, nombre de bandes, vitesse autorisée, possibilité de parking pour chaque arc du réseau + disposition d'une matrice O/D, répartition du parc automobile, etc.).

De plus, la Ville de Namur avait commandé l'étude d'un plan de circulation et il nous paraissait intéressant de voir quels pourraient être les impacts d'un changement de politique de circulation au travers d'un exemple concret et non imaginé par nos soins.

3.2. Récolte des données nécessaires aux modèles pour cette zone

3.2.1. Pour le modèle de trafic

3.2.1.1. La matrice de demande

La première matrice origines/destinations (O/D) utilisée datait d'avant 1990 et comportait environ 25 000 demandes de déplacements, cette demande était ventilée entre les modes de transport voiture ou bus. Cette matrice était suffisante dans un premier temps lors de la phase d'élaboration du modèle combiné. Toutefois, en passant à la phase de calibrage du modèle, nous avons besoin d'une nouvelle matrice O/D. Nous avons donc utilisé la plus récente à notre disposition c'est-à-dire celle évaluée en 1992 par la société STRATEC dans le cadre d'une étude de transport routier à Namur [B 26]. Cette matrice de 1992, comprenant plus de 40 000 demandes de déplacement en véhicules privés, a été mise à jour selon la méthodologie décrite ci-dessous et au moyen du logiciel ATES développé au GRT [B 3].

3.2.1.1.1. Mise à jour de la matrice du matin (7h30-9h00)

Nous utilisons un modèle de simulation du trafic dynamique, en ce sens qu'il simule l'évolution des conditions de trafic au cours du temps. Pour cette raison, nous avons besoin d'une matrice O/D dynamique, c'est-à-dire qu'outre l'origine et la destination, le moment du départ doit être connu pour chaque déplacement, ce qui n'est pas le cas de la matrice 1992 de STRATEC. C'est la raison pour laquelle nous avons divisé et réparti la demande totale en six tranches d'un quart d'heure. Nous avons basé notre distribution sur un ensemble de comptages réalisés par le MET en 1999 sur les principales voies de pénétration et pour les deux sens de circulation (les données étaient fournies quart d'heure par quart d'heure). Nous avons supposé que la distribution dans le temps de la demande suivait celle de ces comptages. Les coefficients utilisés sont les suivants :

- demande entre 7h30 et 7h45 : 15,65 % de la demande totale entre 7h30 et 9h00,
- demande entre 7h45 et 8h00 : 17,68 % de la demande totale entre 7h30 et 9h00,
- demande entre 8h00 et 8h15 : 17,15 % de la demande totale entre 7h30 et 9h00,
- demande entre 8h15 et 8h30 : 17,67 % de la demande totale entre 7h30 et 9h00,
- demande entre 8h30 et 8h45 : 16,61 % de la demande totale entre 7h30 et 9h00,
- demande entre 8h45 et 9h00 : 15,28 % de la demande totale entre 7h30 et 9h00.

Lors de l'affectation de centroïdes de notre modèle aux districts de STRATEC, il arrivait régulièrement que deux ou plusieurs centroïdes appartiennent au même district. Dans ce cas, il nous fallait encore distribuer la demande entre ces différents centroïdes. Nous l'avons fait en suivant la même distribution que celle utilisée pour l'ancienne matrice de notre logiciel.

ATES peut se baser sur un ensemble de comptages pour mettre à jour l'ensemble de la demande. En réalité, nous ne mettons pas à jour une matrice O/D mais bien six (une pour chaque tranche de temps). Ces six matrices sont mises à jour avec des comptages essentiellement effectués sur les nationales de pénétration dans la ville³. Ces comptages ont eu lieu durant un mois complet (septembre/octobre 1994 + même période pour 1995) et nous avons pris comme comptages, la moyenne des comptages pour les jours ordinaires.

Une fois la demande globale établie pour chaque tranche horaire, nous attribuons aléatoirement à chaque demande une heure précise de départ (division de la tranche en minutes), ceci afin d'éviter que l'ensemble des usagers ne partent au même moment.

Nous fournissons alors les matrices de chaque tranche horaire remises à jour comme données pour PACSIM, notre modèle de simulation dynamique du trafic. Le modèle peut alors être calibré en utilisant les comptages supplémentaires qui n'ont pas été employés pour la mise à jour des matrices.

3.2.1.1.2. *Mise à jour de la matrice du soir*

Dans ce cas, contrairement à celui concernant la matrice du matin, nous ne possédons aucune donnée de STRATEC directement exploitable. Aucune matrice O/D, déplacements tous motifs, pour la période du soir n'existe dans l'étude STRATEC. Nous avons donc envisagé plusieurs possibilités.

- Utilisation de la matrice 6h30-19h30

La seule matrice à notre disposition et contenant des informations pour la période du soir est celle des déplacements tous motifs pour la période 6h30-19h30. Nous pourrions redistribuer la demande à partir de comptages pour avoir un profil de l'évolution de la demande mais le problème vient du fait qu'il nous faudrait utiliser des fonctions de distribution horaire différentes selon le type de chaque district afin d'être réalistes. En effet, le profil de la fonction de distribution pour un district qui est plutôt attracteur de trafic le matin et émetteur le soir sera bien différent de celui d'un district, émetteur le matin et attracteur le soir. De cette matrice générale, nous aurions pu retirer la pointe du matin mais il est clair que la matrice résultante n'a pas la même structure que la matrice du soir. De toute évidence, il est impossible de se baser sur la matrice 6h30-19h30 pour obtenir une matrice O/D pour la pointe du soir.

- Création d'une matrice à partir de comptages

³ Notons que ces comptages sont différents de ceux utilisés pour la distribution de la demande.

ATES, le logiciel utilisé pour la mise à jour des matrices, peut créer une matrice O/D à partir de simples comptages. Il est bien évident qu'une telle méthode nécessite un nombre important de comptages afin d'obtenir une matrice proche de la réalité. Le problème est que nous ne possédons que peu de comptages datant de 1994, 1995 et que, de plus, nous avons besoin d'un certain nombre de ceux dont nous disposons pour valider et calibrer le réseau. Avec une telle solution, soit la matrice résultante risquait fort d'être peu fiable soit, en utilisant l'ensemble des comptages à notre disposition, il était impossible d'effectuer le calibrage et la validation du modèle.

- Enquête permettant la création d'une matrice

Cette solution n'est pas envisageable pour la bonne et simple raison qu'il nous était impossible dans le laps de temps et le budget impartis pour le projet de réaliser une telle enquête. De plus, cette enquête ne figure pas dans les objectifs de notre projet.

- Inversion de la matrice du matin

La solution la plus réaliste nous semblait être celle de l'inversion de la matrice du matin. En effet, il n'est pas déraisonnable de supposer que la plupart des usagers partis de A vers B le matin, effectueront le déplacement inverse de B vers A le soir (même s'ils empruntent un autre trajet pour le retour). De plus, on peut penser que la plupart des usagers s'étant déplacés durant la pointe du matin le feront durant la pointe du soir. À partir de là nous pouvons inverser la matrice du matin pour obtenir une première approximation de la matrice du soir. Nous peaufinons cette approximation à l'aide du logiciel ATES et de comptages dont nous disposons. Cette mise à jour permettra dans une certaine mesure de ne plus tenir compte des gens repartant le soir hors de la période de pointe alors qu'ils étaient partis entre 7h30 et 9h00 le matin et de prendre en compte ceux partant entre 16h00 et 17h30 alors que le matin, ils ne s'étaient pas déplacés entre 7h30 et 9h00. Nous découpons ensuite la matrice en une matrice dynamique par tranche d'un quart d'heure en utilisant la même méthode que celle pour la matrice du matin. De nouveau, la distribution horaire se fait suivant des comptages effectués par le MET sur les principaux axes de pénétration.

- demande entre 16h00 et 16h15 : 15,55 % de la demande totale,
- demande entre 16h15 et 16h30 : 16,57 % de la demande totale,
- demande entre 16h30 et 16h45 : 17,05 % de la demande totale,
- demande entre 16h45 et 17h00 : 17,24 % de la demande totale,
- demande entre 17h00 et 17h15 : 16,49 % de la demande totale,
- demande entre 17h15 et 17h30 : 17,1 % de la demande totale.

Nous verrons un peu plus loin que cette méthode, la plus réaliste avec les moyens et le temps dont nous disposons ne présente pas des résultats suffisamment probants pour permettre des simulations de scénarios.

3.2.1.2. Le réseau routier

Les données concernant l'infrastructure du réseau de Namur dataient de 1990. C'est pourquoi, afin de valider et calibrer notre modèle, nous avons dû remettre à jour ces données. Cette mise à jour concernait principalement le centre de la ville avec les changements de sens de circulation, la diminution du nombre de voies ou de la limitation de vitesse.

3.2.2. Pour le modèle d'émissions

Le parc des véhicules et ses caractéristiques (nombre, âge, type, cylindrée) a été déterminé sur base des données INS concernant le parc automobile dans la province de NAMUR. Nous avons utilisé les mêmes proportions entre véhicules pour la simulation du trafic sur base d'un tirage aléatoire.

3.2.2.1. La classification des voitures du modèle

Nous avons utilisé les caractéristiques du parc de véhicules de la province de Namur pour définir les voitures qui circulent dans le modèle. La première répartition se fait en fonction du type de carburant.

Carburant	Namur
Essence	64.7%
Diesel	34.5%
LPG	0.9%

Tableau 7 : Répartition par cylindrée du parc de voitures à essence présent en province (INS 1998).

3.2.2.2. La répartition en normes ECE des voitures essence

Cette répartition, qui ne concerne que les voitures personnelles, est reprise au Tableau 8. Nous tenons compte des catégories du parc de voitures de la province de Namur.

Norme	Années	Pourcentage du parc
Pre ECE	< 1970	0
ECE 15-00/01	1970-1976	3.5%
ECE 15-02/03	1977-1986	15.6%
ECE 15/04	1987-1992	43.4%
91/441/EEC	1993-1996	26.6%
94/12/EEC	>= 1997	10.9%

Tableau 8 : Répartition du parc des voitures essence par âge.

Ces chiffres sont déduits des tableaux du « Parc des véhicules à moteur » de l'INS. Les années dont nous parlons dans ce tableau sont les années de première mise en circulation des voitures du parc.

Les chiffres publiés par l'INS 1998 regroupent en une seule classe tous les véhicules mis en circulation avant 1981. Ce chiffre a été divisé sur base des données des années précédentes en appliquant une diminution proportionnelle à l'évolution observée et en laissant la classe <1970 égale à zéro. Les chiffres des années 1987-1992, 1993-1996 et >=1997 sont les pourcentages exacts du parc.

Depuis le premier janvier 1993, toutes les voitures à essence doivent être équipées d'un pot catalytique à trois voies. Toutefois, les pots catalytiques ont fait leur apparition dès 1990 et on peut considérer qu'une partie des voitures neuves étaient déjà équipées de pots catalytiques à partir de 1990. Nous sous-estimons donc probablement le nombre de voitures correspondant à la norme 91/441/EEC, ce qui a pour effet de surestimer quelque peu les émissions.

3.2.2.3. La cylindrée des voitures particulières à essence

Ce chiffre est donné par région par la D.I.V. Les pourcentages introduits ici et repris au Tableau 9 sont les pourcentages régionaux de ces différentes cylindrées. L'INS publie une classification par cylindrée légèrement différente (<1000 cc et 1000-1500 cc) de celle utilisée dans ce modèle, ce qui nous oblige à une règle de trois pour réévaluer les deux premières classes. La classe des plus de 2 litres est, quant à elle, inchangée.

Cylindrée	Région Wallonne
< 1400 cc	53.2
1400 cc - 2000 cc	41.7
> 2000 cc	5.1

Tableau 9 : Répartition par cylindrée du parc de voitures à essence présent en Région Wallonne en 1998.

3.2.2.4. La répartition en normes ECE des voitures diesel

Norme	Années	Pourcentage du parc
Conventional	< 1994	54.4%
91/441/EEC	1994 - 1996	27.7%
94/12/EEC	>= 1997	17.9%

Tableau 10 : Répartition du parc des voitures diesel par âge.

3.2.2.5. La cylindrée des voitures particulières diesel

Comme pour les voitures à essence, les pourcentages repris dans le Tableau 11 sont ceux du parc de voitures diesel de la région.

Cylindrée	Région Wallonne
< 2000 cc	85.3
> 2000 cc	14.7

Tableau 11 : Répartition par cylindrée des voitures diesel présentes en région en 1998.

3.2.2.6. La répartition en normes ECE des voitures LPG

Norme	Années	Pourcentage du parc
Conventional	< 1993	69.9%
91/441/EEC	1993 - 1996	22.2%
94/12/EEC	>= 1997	7.9%

Tableau 12 : Répartition du parc des voitures LPG par âge.

3.2.2.7. Les routes

La classification des routes proposée par CORINAIR segmente le réseau routier en 3 types de voiries : autoroutes, routes rurales et routes urbaines.

COPERT donne des vitesses moyennes considérées comme représentatives pour la caractérisation du comportement routier des voitures à essence sur les trois types de routes définis par eux. Nous reprenons ces vitesses pour tous les types de véhicules et nous y ajoutons des limites supérieure et inférieure utilisées pour le calcul des facteurs d'émissions.

	URBAIN	RURAL	AUTOROUTE
Vitesse moyenne	25 km/h	50 km/h	> 103 km/h
Limite inférieure	0 km/h	40 km/h	80 km/h
Limite supérieure	< 40 km/h	< 80 km/h	130 km/h

Tableau 13 : Répartition des vitesses moyennes par type de routes.

3.2.2.8. Les émissions de CO₂ et de SO₂

Les émissions de ces polluants se basent sur les teneurs moyennes de carbone dans les carburants et sur les normes nationales en vigueur régissant les teneurs en soufre des carburants.

	Facteur d'émission CO ₂	Facteur d'émission SO ₂
Essence	72 000 g/GJ	9.1 g/GJ (0.4 kg/T)
Diesel	74 000 g/GJ	23.6 g/GJ (1 kg/T)
LPG	65 000 g/GJ	0

Tableau 14 : Facteurs d'émission du CO₂ et du SO₂.

Les données concernant les températures sont fournies par l'I.R.M. et les propriétés des carburants par le Ministère des Affaires Economiques.

3.3. Cartographie des émissions

Sur base de l'emplacement des nœuds du réseau perçu et analysé par le modèle PACSIM, nous avons fait un relevé cartographique de zone modélisée à Namur

Le traitement des résultats se fait sous Arc View qui permet, à partir d'un fichier exporté sous notre programme Access de directement représenter les niveaux d'émissions de polluants simulés par PACSIM.

Une première étape fut l'analyse cartographique en se limitant aux arcs représentant la corbeille de Namur. Il s'agissait de la zone comprise entre la Sambre, la Meuse et les voies du chemin de fer, ce qui correspond au centre ville. Dès que ce module a été développé et opérationnel, nous l'avons étendu à l'ensemble du réseau modélisé dans PACSIM. Pour cela, le GRT a défini sur des cartes tirées du logiciel cartographique de l'IW la position de chaque nœud du réseau et les liens (rues, autoroutes, ...) que l'on considérait. A partir de ces cartes, l'IW a procédé à l'encodage et l'analyse cartographique est maintenant disponible pour l'ensemble des liens du réseau.

Cette information permet alors de comparer pour une même simulation l'évolution au cours du temps, ou alors de comparer entre elles différentes simulations afin d'observer comment se répartissent ces émissions.

La qualité de la représentation cartographique permet de se focaliser sur des zones spécifiques, des quartiers, qui peuvent faire l'objet d'analyse particulière.

3.4. La validation de la simulation

3.4.1. Calibrage du modèle de simulation du trafic

3.4.1.1. Difficultés rencontrées

Pour rappel, nous avons choisi comme demande de départ la matrice O/D fournie par l'étude STRATEC de 1992 reprenant la demande globale (en nombre total de véhicules) entre 7h30 et 9h00 entre les différentes paires O/D. Nous avons d'abord dû ventiler cette demande en six tranches d'un quart d'heure selon une distribution issue d'observations sur plusieurs axes du réseau⁴. Nous obtenions alors une demande quart d'heure par quart d'heure entre 7h30 et 9h00 que nous avons ensuite mise à jour à l'aide de comptages. Le résultat nous donnait la demande mise à jour répartie en six tranches temporelles d'un quart d'heure.

Dans chaque tranche d'un quart d'heure, pour éviter un départ en masse (en attribuant un même moment de départ à tous les véhicules de la tranche), nous avons choisi de distribuer aléatoirement le moment de départ de chaque véhicule sur l'ensemble du quart d'heure. Cette façon de procéder nous permettait d'avoir ainsi une distribution temporelle plus en

⁴ La distribution exacte est reprise à la section 3.2.1.1.1.

rapport avec la réalité. Malheureusement, le caractère aléatoire de cette distribution rend le calibrage dynamique impossible dans de telles conditions. Nous avons alors décidé de calibrer notre modèle non plus sur chaque tranche mais sur la période complète des comptages afin de réduire les effets de cette distribution aléatoire. La comparaison des comptages utilisés pour le calibrage du modèle et des flux simulés correspondants fera l'objet du point suivant.

Comme nous le verrons, tout ceci donne des résultats globalement satisfaisants. Cependant, des incohérences existent. Celles-ci sont essentiellement dues à des incohérences entre comptages : soit certains comptages utilisés pour la mise à jour de la demande ne sont pas cohérents avec d'autres comptages utilisés pour le calibrage du modèle, soit certains comptages utilisés avec d'autres, de même type, sont en contradiction.

3.4.1.2. Situation du matin

Étudions d'abord les arcs qui ont servi à la mise à jour de la demande. Le Tableau 15 reprend, pour ces arcs, le comptage entre 7h30 et 9h00, le flux simulé sur la même période et le rapport entre le flux simulé et le comptage.

	B _k	Arcs	Compta ge	Flux simulé	Rapport flux sim./compt. (%)
1	N4 Bk 50.2	Nationale 4 BK50.2 : vers Namur	901	977	108.44
2	N4 Bk 50.2	Inverse de 1	727	880	121.05
3	N4 Bk 50.4	Nationale 4 BK50.4 : vers Namur	702	719	102.42
4	N4 Bk 50.4	Inverse de 3	606	828	136.63
5	N4 Bk 58.6	Av Prince de Liège : Liège vers Namur (entre av du Luxembourg et r.p. Charlotte)	2309	2327	100.78
6	N4 Bk 58.6	Inverse de 5	1307	1495	114.38
7	N4 Bk 61.6	Chaussée de Marche : Marche vers Namur (entre rue Grande et av des Acacias)	1563	1578	100.96
8	N4 Bk 61.6	Inverse de 7	956	978	102.30
9	N4 Bk 66.6	Chaussée de Marche : BK66.6 Marche vers Namur	946	1051	111.1
10	N4 Bk 66.6	Inverse de 9	523	544	104.02
11	N80 Bk 64.5	Route de Hannut : Hannut vers Namur (entre rue du Grand Feu et Av Albert ler)	2821	2857	101.28
12	N80 Bk 64.5	Inverse de 11	1184	955	80.66
13	N80 Bk 65.3	Av Albert ler : pont des Grands malades vers bld Cauchy	2514	2674	106.36
14	N80 Bk 65.3	Inverse de 13	938	825	87.95
15	N90 Bk 65.9	Chaussée de Charleroi : Charleroi vers Namur (entre Fond de Malonne et rue du Déversoir)	1455	1450	99.66
16	N90 Bk 65.9	Inverse de 15	926	948	102.38
17	N90 Bk 74.0	Chaussée de Liège : Liège vers Namur (Pont des Grands Malades et av Prince de Liège)	1304	1786	136.96
18	N90 Bk 74.0	Inverse de 17	952	949	99.68
19	N90 Bk 75.2	Chaussée de Liège : Liège vers Namur (entre rue Erpent Val et pont des Grands Malades)	1482	1590	107.29
20	N90 Bk 75.2	Inverse de 19	786	831	105.73
21	N91 Bk 0.1	Chaussée de Louvain : Louvain vers Namur (avant le pont)	1809	2262	125.04
22	N91 Bk 0.1	Inverse de 21	898	808	89.98
23	N92 Bk 0.2	Bld Brunell : rue d'Harscamps vers pont des Ardennes (entre rue Harscamps et rue des Quatre Fils Aymar)	1172	1615	137.80
24	N92 Bk 0.2	Inverse de 23	1440	1911	132.71
25	N92 Bk 3.2	Route de Dinant : Dinant vers Namur (entre rue Lecomte et rue Dohet)	1176	1263	107.4
26	N92 Bk 3.2	Inverse de 25	643	616	95.80

27	N92 Bk 6.7	Chaussée de Dinant : Dinant vers Namur (entre pont Tailfer et route de St Gérard)	418	661	158.13
28	N92 Bk 6.7	Inverse de 27	633	681	107.58
29	N93 Bk 2.3	Chaussée de Nivelles : Nivelles vers Namur (entre rue d'Ortay et route de Floreffe)	572	706	123.43
30	N93 Bk 2.3	Inverse de 29	401	335	83.54
31	N93 Bk 2.8	Chaussée de Nivelles : Nivelles vers Namur (entre route de Floreffe et rue de la Sapinière)	667	653	97.9
32	N93 Bk 2.8	Inverse de 31	563	362	64.3
33	N947 Bk 0.0	Avenue Bovesse : place de Wallonie vers r.p. Charlotte	1227	1241	101.14
34	N947 Bk 0.0	Inverse de 33	1525	1477	96.85
35	N947 Bk 0.8	Rue de Dave : Dave vers place de Wallonie	955	994	104.08
36	N947 Bk 0.8	Inverse de 35	741	843	113.77
37	N947 Bk 6.1	Rue de Jambes : Dave vers Jambes (entre rue de Naninne et rue St Hubert)	753	568	75.43
38	N947 Bk 6.1	Inverse de 37	360	322	89.44
39	N954 Bk 4.0	Avenue de la Vecquée : Malonne vers Namur (entre rue du Vivier et route de Naninne)	702	745	106.13
40	N954 Bk 4.0	Inverse de 39	197	219	111.17

Tableau 15 : Comptage, flux simulé et rapport flux simulé/comptage pour les arcs ayant servi à la mise à jour de la demande

Afin de rendre ces résultats plus explicites, nous les avons aussi présentés graphiquement. Tout d'abord, si nous regardons, pour l'ensemble des arcs, la distribution des rapports entre les flux simulés et les comptages, nous obtenons le graphique de la Figure 11 :

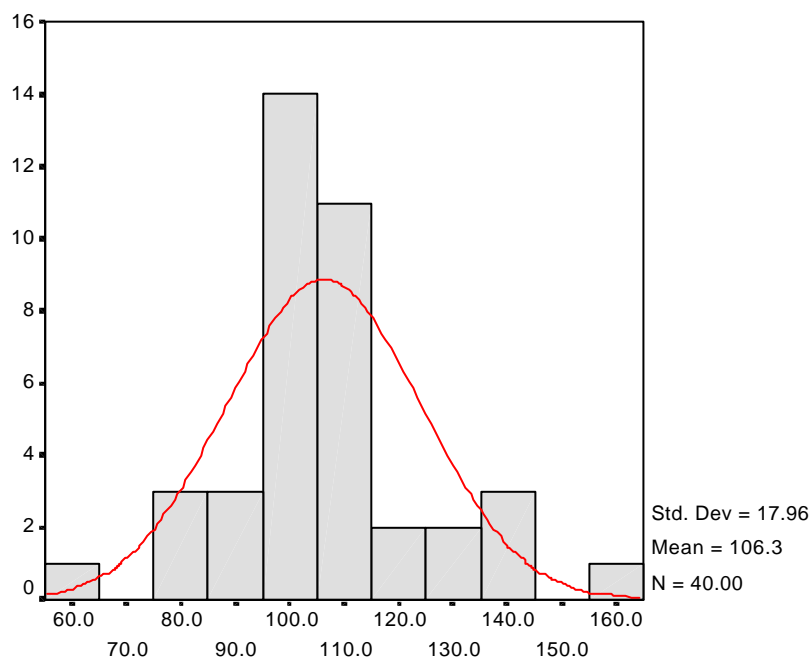


Figure 11 - Distribution du rapport entre les flux simulés et les comptages

Si nous voulons quantifier le lien entre les flux simulés et les comptages, nous pouvons représenter les 40 arcs sur un graphique «flux simulés» en fonction des «comptages» (Figure 12).

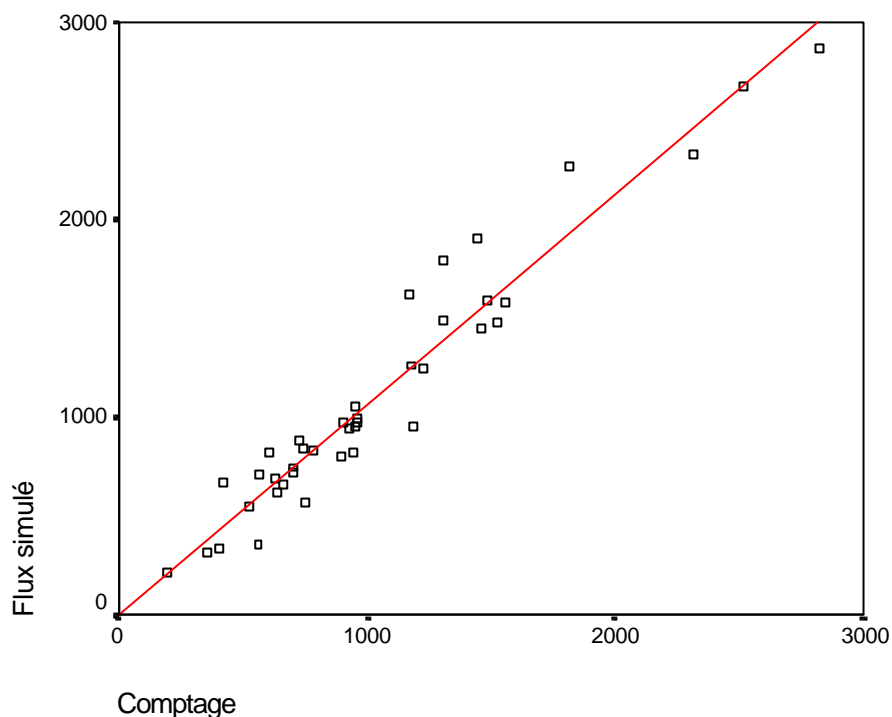


Figure 12 - Flux simulés en fonction des comptages

Nous avons indiqué sur le graphique ci-dessus la droite de régression passant par l'origine. L'équation de cette droite est $flux\ simulé = 1,066 * comptage$. Nous voyons donc que nous avons, en moyenne, ici aussi une bonne cohérence entre les flux simulés et les comptages.

Etudions maintenant les arcs qui ont servi au calibrage du modèle. Le Tableau 16 reprend, pour ces arcs, le comptage, la période pendant laquelle ont été effectués les comptages, le flux simulé sur cette même période et le rapport entre le flux simulé et le comptage.

	Localisation + période des comptages	Arc	Période horaire	Comptage	Flux simulé	Rapport flux simulé/ comptage (%)
1	Square Masson (09/95)	Av Comte de Smet de Nayer, square Masson vers bld Cauchy	7h30 – 8h30	360	369	100.5
2		Inverse de 1	7h30 – 8h30	891	672	75.42
3		Rue Brabant : square Masson vers centre	7h30 – 8h30	565	511	90.44
4		Inverse de 3	7h30 – 8h30	553	725	131.1
5		Bld Brunell : bld vers square Masson	7h30 – 8h30	387	539	139.28
6		Inverse de 5	7h30 – 8h30	1126	1267	112.52
7		Pont des Ardennes : Namur vers Jambes	7h30 – 8h30	1103	1251	113.42
8		Inverse 7	7h30 – 8h30	1298	1508	116.18
9	Grognon (05/97)	Av Baron Huart : feu vers Pont de France	7h30 – 8h30	1355	1449	106.94
10		Inverse 9	7h30 – 8h30	761	789	103.68
11		Place Kegeljan : rue bord de l'eau vers feu	7h30 – 8h30	785	907	115.54
12		Inverse de 11	7h30 – 8h30	1039	1195	115.01
13		Av Baron Huart : feu vers pont de Jambes	7h30 – 8h30	594	748	125.93
14		Inverse de 13	7h30 – 8h30	1447	1330	91.91
15	Pont de Jambes (05/97)	Av Baron Huart : feu vers pont de Jambes ⁵	7h30 – 8h30	617	748	121.23
16		Inverse de 15	7h30 – 8h30	1688	1330	78.79
17		Av Baron de Moreau : Dinant vers pont de Jambes	7h30 – 8h30	1219	1040	85.32
18		Inverse de 17	7h30 – 8h30	495	445	89.9
19		Pont de Jambes : Namur vers Jambes	7h30 – 8h30	669	585	87.44
20		Inverse de 19	7h30 – 8h30	844	767	90.88
21	R.P. Charoite (09/95)	Av Prince de Liège (début) : r.p. Joséphine Charlotte vers Liège	7h45 – 8h30	749	855	114.15
22		Inverse de 21	7h45 – 8h30	1164	1344	115.46
23	Place de Wallonie (10/97)	Avenue Bovesse : r.p. Joséphine Charlotte vers place de Wallonie	8h00 – 9h00	568	588	103.52
24		Inverse de 23	8h00 – 9h00	584	839	143.66
25		Av Materne : place de Wallonie vers Montagne Ste Barbe	8h00 – 9h00	356	528	148.31
26		Inverse de 25	8h00 – 9h00	635	525	82.68
27		Rue de Dave : Dave vers place de la Wallonie	8h00 – 9h00	433	694	160.28
28		Inverse de 27	8h00 – 9h00	469	632	134.75
29		Av Materne : place de Wallonie vers pont de Jambes	8h00 – 9h00	647	593	91.65
30		Inverse de 29	8h00 – 9h00	420	357	85.00
31	Boulevard du Nord (05/99)	Bvd du Nord : bvd Merckem vers St Luc	7h30 – 9h00	1360	1490	109.56
32		Bvd du Nord : St Luc vers pont de Louvain	7h30 – 9h00	1189	1350	113.54
33		Bvd du Nord : St Luc vers Herbatte	7h30 – 9h00	909	779	85.7
34		Trémie pont de Louvain vers bld du Nord	7h30 – 9h00	884	1393	157.58
35		Trémie Bvd Herbatte vers bvd du Nord	7h30 – 9h00	729	925	126.89
36		Bretelle chaussée de Louvain vers Bvd du Nord	7h30 – 9h00	495	574	115.96

⁵ A cet endroit, nous disposons de deux comptages effectués entre 7h30 et 8h30 lors de jours différents.

37	Omalius + Rue de Bruxelles (05/98)	Av des Combattants : Namur vers St Servais	7h30 – 8h30	1009	1250	123.89
38		Inverse de 37	7h30 – 8h30	1068	885	82.87
39		Av de Stassart : feu vers pont de la Libération	7h30 – 8h30	220	229	104.09
40		Inverse de 39	7h30 – 8h30	496	302	60.89
41		N904 Parc : feu vers feu de la rue de Bruxelles	7h30 – 8h30	1270	1060	83.46
42		Inverse de 41	7h30 – 8h30	482	462	95.85
43		Bld Mélot : gare vers feu Omalius	7h30 – 8h30	453	937	206.84
44		Trémie à Omalius : pont de la Libération vers gare	7h30 – 8h30	641	1027	160.22
45		Trémie à Omalius : gare vers pont de la Libération	7h30 – 8h30	607	854	140.69
46		Rue d'Omalius : feu vers bld Mélot	7h30 – 8h30	443	529	119.41
47		Rue de Bruxelles : centre vers feu	7h30 – 8h30	362	450	124.31
48		Inverse de 47	7h30 – 8h30	660	203	30.76
49		Rempart de la Vierge : Sambre vers feu	7h30 – 8h30	253	25	9.88
50		Inverse de 49	7h30 – 8h30	295	256	86.78
51	Route de Hannut (route de Hébar) (09/94)	Route de Hannut-descente E411 : Bruxelles vers route de Hannut	7h30 – 9h00	1362	1396	102.5
52		Montée sur E411 : route de Hannut vers Luxembourg	7h30 – 9h00	163	235	144.17
53		Route de Hannut : Hannut vers Namur (entre les deux sorties d'autoroutes)	7h30 – 9h00	1474	1532	103.93
54		Inverse de 53	7h30 – 9h00	856	993	116.00
55		Route de Hannut : Hannut vers Namur (entre la sortie de l'autoroute et la rue Hébar)	7h30 – 9h00	2729	2655	97.29
56		Inverse de 55	7h30 – 9h00	912	987	108.22
57		Rue Hébar : route de Hannut vers chaussée de Louvain	7h30 – 9h00	149	214	143.62
58		Inverse de 57	7h30 – 9h00	223	292	130.94
59		Route de Hannut : Hannut vers Namur (entre rue Hébar et rue du Grand Feu)	7h30 – 9h00	3029	2940	97.06
60		Inverse de 59	7h30 – 9h00	980	974	99.39
61	Route de Hannut (Rue du Grand Feu) (09/95)	Rue du Grand Feu : route de Hannut vers Bouge	7h45 – 8h45	245	106	43.27
62		Inverse de 61	7h45 – 8h45	132	42	31.82
63		Rue de la Libération : route de Hannut vers Beez	7h45 – 8h45	27	62	229.63
64		Inverse de 63	7h45 – 8h45	53	61	115.09
65		Route de Hannut : Hannut vers Namur (entre rue du Grand Feu et le pont des Grands Malades)	7h45 – 8h45	2187	1980	90.53
66		Inverse de 65	7h45 – 8h45	741	769	103.78
67	Grands Malades (1/95)	Pont des Grands Malades : Hannut vers Namur	7h45 – 8h45	1087	1085	99.82
68		Inverse de 67	7h45 – 8h45	1055	1083	102.65
69		Chaussée de Liège : Liège vers Namur (entre pont des Grands malades et av Prince de Liège)	7h45 – 8h45	1556	1268	81.49
70		Inverse de 69	7h45 – 8h45	1113	743	66.76
71		Chaussée de Liège : Namur vers Liège (entre pont des Grands Malades et rue Erpent Val)	7h45 – 8h45	678	660	97.35
72		Inverse de 71	7h45 – 8h45	1104	1190	107.79

Tableau 16 : Comptage, flux simulé et rapport flux simulé/comptage pour les arcs ayant servis au calibrage du modèle.

Ici aussi, une représentation graphique permet de mieux appréhender ces résultats. Le graphique ci-dessous (Figure 13) donne tout d'abord la distribution des rapports entre les flux simulés et les comptages.

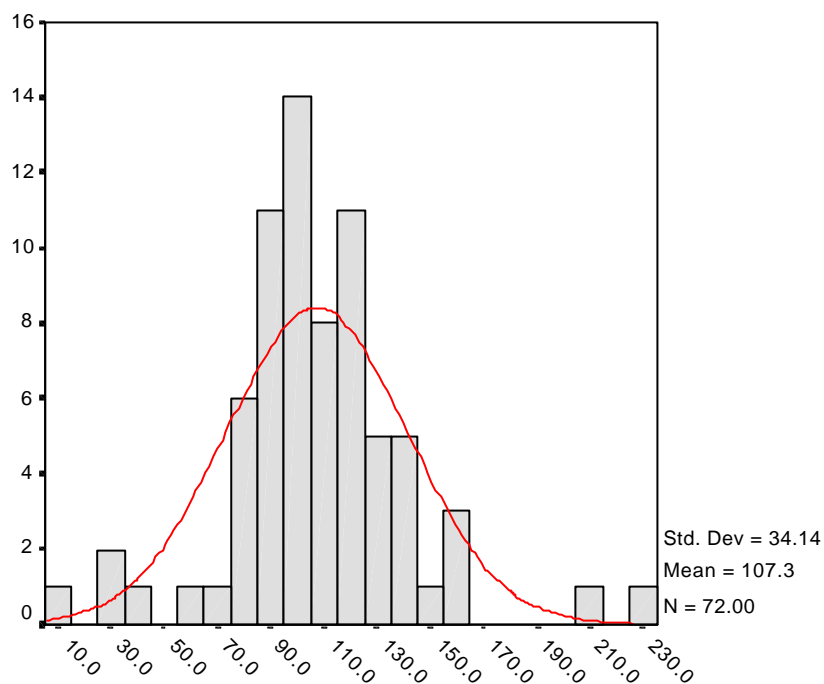


Figure 13 - Distribution du rapport entre les flux simulés et les comptages

Une représentation des 72 arcs sur un graphique «flux simulés» en fonction des «comptages» (Figure 14) permet de quantifier également le lien entre ces flux simulés et les comptages.

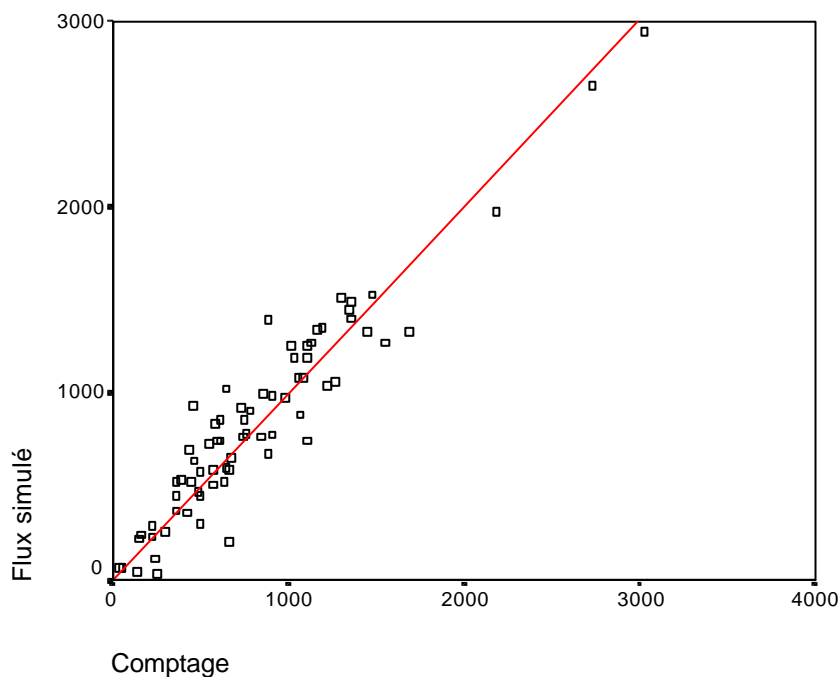


Figure 14 - Flux simulés en fonction des comptages

L'équation de la droite de régression est : $\text{flux simulé} = 1,001 * \text{comptage}$.

Nous pouvons remarquer, dans les tableaux ou les graphiques ci-dessus, certaines différences plus importantes que les autres. Toutefois, elles peuvent s'expliquer :

- Chaussée de Liège (Tableau 15 - ligne 17) : il existe une certaine incohérence au niveau du comptage car nous retrouvons plus de véhicules avant le Pont des Grands Malades qu'après (dans le sens Liège vers Namur). Par contre, dans le Tableau 16, pour d'autres comptages, nous retrouvons bien plus de véhicules après le Pont (lignes 69 et 72). Ceci nous semble plus logique d'autant que cela est corroboré par des comptages effectués récemment (septembre 1999) aux mêmes endroits.
- Boulevard Brunell (Tableau 15 - lignes 23 et 24) : les flux simulés sont plus élevés que les comptages réels. Ceci provient de l'influence du Grognon dans notre matrice de départ. En effet, la matrice de Stratec date de 1992, époque où il y avait encore un parking au Grognon. Par conséquent, de nombreux déplacements s'achèvent dans les environs de celui-ci.
- Rue de Dave (Tableau 16 - lignes 27 et 28) : les flux simulés sont trop importants par rapport aux comptages. Toutefois, dans le Tableau 15 au même endroit, les flux sont très proches (lignes 35 et 36).
- Trémies sous le Pont de Louvain vers le Boulevard du Nord (Tableau 16 - lignes 34 et 35) : faute de mieux, nous avons pris des comptages datant de 1999, à une époque où le Boulevard du Nord était déjà en chantier. C'est pourquoi les comptages sont plus faibles que les flux simulés.
- Rempart de la Vierge (Tableau 16 - ligne 49) : le faible flux peut s'expliquer par le fait que les usagers de cette rue sont à la recherche d'une place de parking. Or, nous ne modélisons pas ce phénomène de parking puisque, dans notre modèle, les usagers sont supposés arriver à leur destination et pouvoir s'y garer sans difficulté.

3.4.1.3. Situation du soir

Si nous procédons de la même manière que celle employée pour la pointe du matin, nous nous apercevons que la situation sur les axes servant à mettre à jour la demande n'est pas trop mauvaise et en moyenne, la différence entre les flux simulés et les comptages observés sur ces axes est inférieure à quinze pour cent (Figure 15 et Figure 16). L'équation de la droite de régression est $\text{flux} = 1,146 * \text{comptage}$. Par contre, lorsque l'on regarde les axes qui servent à calibrer le modèle, les différences sont beaucoup plus importantes et la dispersion des points par rapport à la droite de régression également (Figure 17 et Figure 18). L'équation de la droite de régression est $\text{flux} = 1,365 * \text{comptage}$. Les résultats de simulations à partir d'une telle situation de base ne seraient guère dignes de confiance car la marge d'erreur est beaucoup trop grande. C'est pourquoi dans la suite de ce rapport, nous ne présenterons que des résultats pour la pointe du matin.

Pour remédier au problème de la pointe du soir, il faudrait partir d'une matrice O/D spécifique au soir (comme celle que nous avons utilisée pour le matin). Une autre possibilité est de créer cette matrice avec un grand nombre de comptages mais cela sous-entend que la situation de base ne serait pas identique à celle de matin.

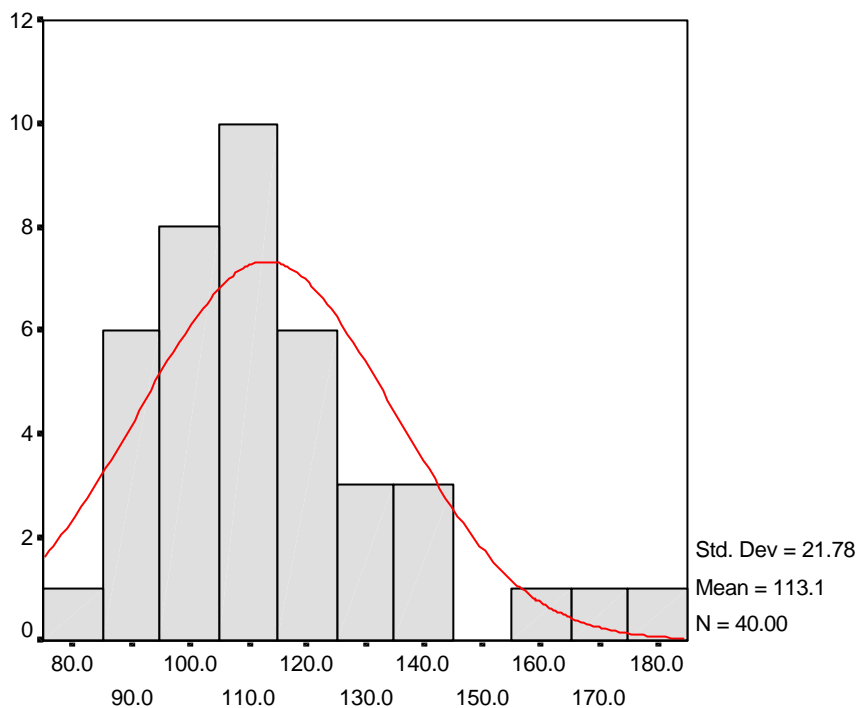


Figure 15 - Distribution du rapport flux simulé/ comptage pour les arcs ayant servi à mettre à jour la demande

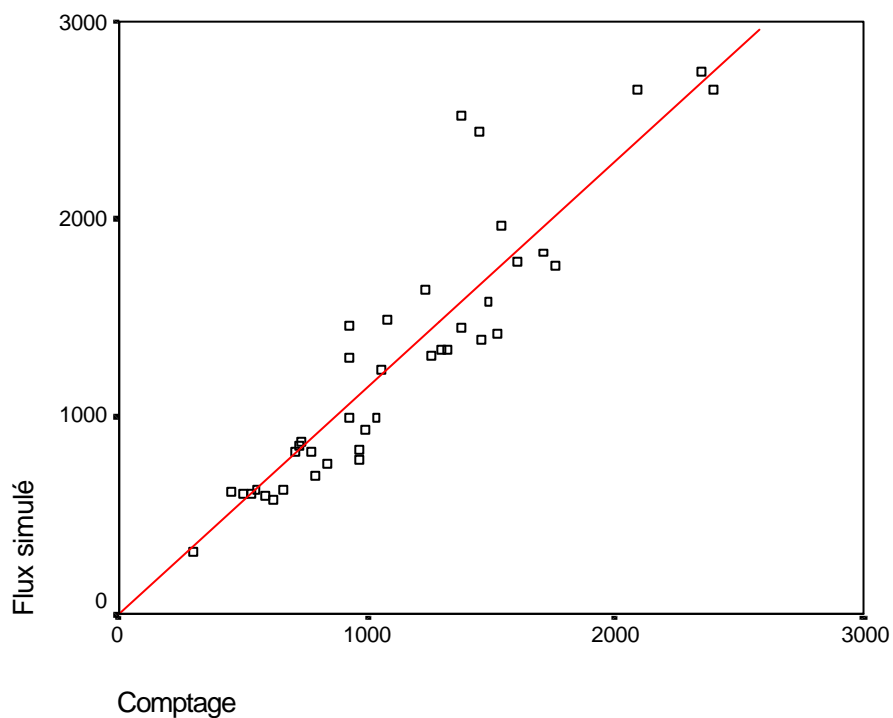


Figure 16 - Flux simulés en fonction des comptages

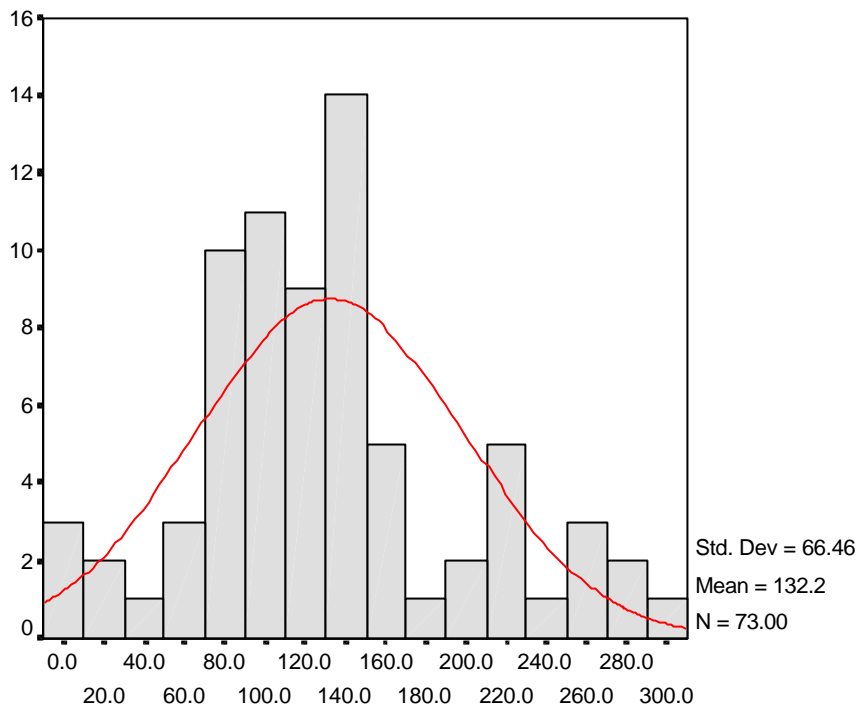


Figure 17 - Distribution du rapport flux simulé/ comptage pour les arcs servant au calibrage du modèle

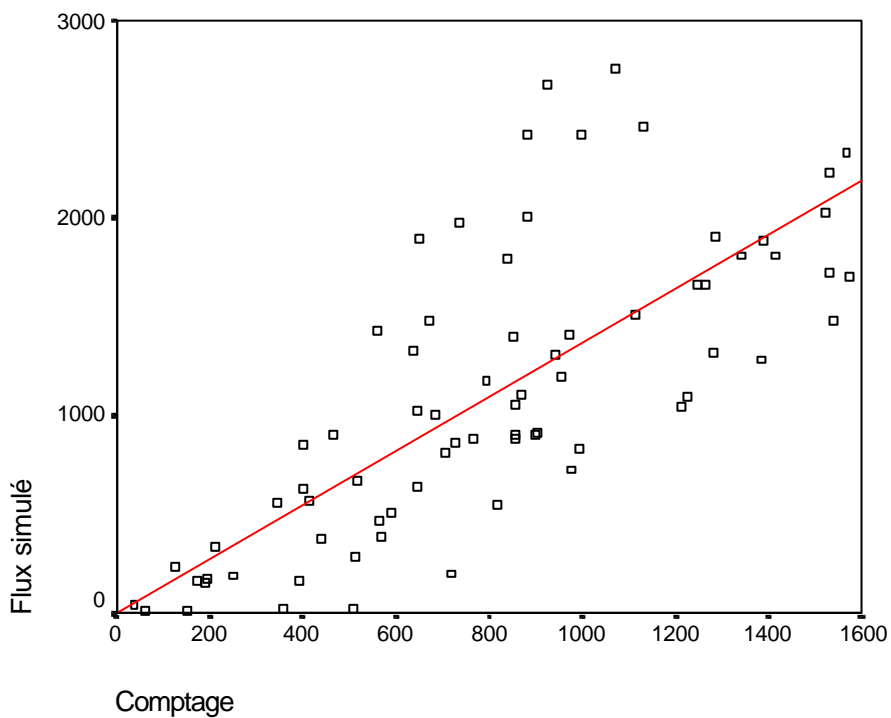


Figure 18 - Flux simulés en fonction des comptages

3.4.2. Le calcul des consommations en litres/100 km

Le modèle d'émission peut être approché en comparant les consommations en litres par 100 kilomètres ou en comparant avec des modèles d'émissions instantanées.

Pour pouvoir comparer plus facilement les modèles et valider les résultats, il est utile de pouvoir disposer de la consommation en essence, diesel et LPG en litres par 100 kilomètres. Les consommations moyennes sont relativement bien connues, ce critère permet facilement de se situer par rapport aux chiffres publiés. Comme il n'est, à priori, pas intéressant de connaître cette consommation sur chaque arc, nous l'intégrons sur la période de temps que nous avons choisie (actuellement 1/4 heure). Comme le montre le tableau ci-dessous, les consommations ainsi calculées lors de la simulation de base (c'est-à-dire celle ayant servi à la validation de notre modèle de trafic) pour chaque tranche horaire restent proches des valeurs moyennes connues [B 1]. Seule la consommation en diesel semble plus éloignée des valeurs habituelles sans doute à cause du fait que COPERT a tendance à sous-estimer les consommations de diesel.

Tranche horaire	Consommation moyenne (l/100 km) en essence durant la tranche	Consommation moyenne (l/100 km) en diesel durant la tranche	Consommation moyenne (l/100 km) en LPG durant la tranche
7h30-7h45	9.1	7.2	9.3
7h45-8h00	9.2	7.2	8.7
8h00-8h15	9.1	7.4	8.8
8h15-8h30	9.6	7.5	9.0
8h30-8h45	9.4	6.9	8.8
8h45-9h00	9.9	7.2	7.7

Tableau 17 : Consommations en litres par 100 kilomètres pour chaque carburant et chaque tranche horaire (simulation témoin)

3.5. Simulation combinée réalisée sur une zone test

3.5.1. Réseau de base

En ce qui concerne la modélisation du réseau, nous avons fait plusieurs choix. Pour la représentation de la Corbeille (centre de la ville), l'ensemble des rues accessibles aux véhicules motorisés a été repris, exception faite de la *Rue Basse-Marcelle* qui est sans issue et n'a donc pas de grosse influence sur la circulation. En ce qui concerne le réseau hors de la Corbeille, nous avons repris les axes principaux (autoroutes, nationales, ...), les axes de pénétration dans la ville de Namur ainsi que la plupart des rues de plus ou moins grande importance dans certains villages (généralement, celles empruntées par les transports en commun).

Le réseau ainsi modélisé est limité au nord par l'autoroute de Wallonie (E 42), à l'est par l'autoroute Bruxelles-Luxembourg (E 411) et au sud et à l'ouest par la frontière entre la commune de Namur et ses communes voisines.

3.5.2. Réalisation de la simulation de base

Comme nous l'avons déjà souligné à plusieurs reprises, nous avons besoin d'une situation pouvant servir de base au calibrage de notre modèle de trafic. Cette simulation, outre les caractéristiques physiques du réseau de la ville de Namur (choisie comme zone test pour des raisons évoquées précédemment), comporte divers paramètres aux valeurs bien définies et que nous allons pouvoir influencer lors de nos différentes simulations.

Cette simulation, que nous appellerons désormais *simulation témoin*, a été effectuée sur base des limitations de vitesses en vigueur à l'époque (1995) mais aussi pour certaines rues, des vitesses couramment observées et sensiblement différentes des limitations (sur les boulevards formant la ceinture de la ville ou sur certains axes principaux du centre où la limite de 50 km/h est souvent dépassée). La température ambiante est équivalente à la température moyenne de l'année 1999 (11.1 °c). Notre matrice O/D ne contenant que des déplacements en voiture privée et comme il n'existe pas de matrice O/D spécifique aux transports publics, notre situation de base ne tient pas compte d'un split modal (voiture – bus).

La simulation témoin, dont les principaux résultats seront exposés dans le chapitre suivant, servira essentiellement de base de comparaison avec les simulations de tests que nous allons maintenant décrire.

Lors de l'analyse des résultats, il est apparu que de nombreux véhicules étaient encore présents sur le réseau à la fin de la simulation (9h00). Nous avons donc fait tourner le modèle durant une tranche horaire supplémentaire afin que tous arrivent à destination. Ne pas faire cette étape supplémentaire aurait conduit à des comparaisons erronées, en effet la diminution des émissions peut être liée au fait que le trafic est à l'arrêt (bouchons). Il est donc utile de tenir compte de la totalité des déplacements jusqu'au point de destination.

3.5.3. Les paramètres exportés

Les paramètres analysés sont : CO₂, SO₂, NO_x, CO, Diox, NMVOC, N₂O, PM, LOAD, FLOW.

Outre les polluants précédemment décrits (voir paragraphe 2.1.1, page 12), deux données spécifiques au trafic sont également disponibles il s'agit des paramètres LOAD et FLOW.

« FLOW » est une donnée qui renseigne le nombre de véhicules qui sont passés sur les arcs durant la période de temps choisie. Ainsi, si une voiture se déplace sur 10 arcs ou que 10 voitures se déplacent sur 1 arc, le FLOW sera toujours égal à 10. Plus ce chiffre est élevé, plus le trafic est intense. Nous l'estimons en nombre de véhicules*liens (v*I).

« LOAD » est une donnée qui renseigne le nombre de voitures encore sur l'arc à la fin de la période choisie (tranche horaire). En quelque sorte, c'est une indication de l'encombrement des voiries, plus il est élevé, moins le trafic est fluide. Il s'exprime en nombre de véhicules

3.5.4. Simulations prospectives

D'autres simulations ont été effectuées dans le but de voir quels seraient les effets et l'influence de la modification de certains paramètres de la simulation témoin ou de certaines politiques de gestion de la circulation à Namur.

1. Effet de la température. En prenant les mêmes hypothèses et le même réseau que dans la situation témoin, nous avons simplement testé quels étaient les effets au niveau des émissions atmosphériques d'une variation de la température. Pour cela, nous avons choisi les températures moyennes du mois le plus chaud (juillet avec 19.5°C) et le plus froid (février avec 2.8°C) de l'année 1999.
2. Instauration d'une zone 30 km/h au centre ville. Nous avons choisi de limiter la vitesse à l'intérieur du centre-ville (Corbeille) à 30 km/h et nous avons supposé que les conducteurs allaient respecter cette limitation. En effet, celle-ci peut s'obtenir par la pose de panneaux de signalisation adéquats mais aussi par le rétrécissement de la largeur des voiries, la diminution du nombre de bandes ou certains ralentisseurs de vitesse. Quels que soient les moyens de cette limitation, notre hypothèse est qu'elle sera respectée par les conducteurs.
3. Utilisation des transports en commun (bus). La matrice O/D de la situation de base contenait uniquement les déplacements en véhicules privés. En effet, il n'existe pas, à notre connaissance de matrice de déplacements en transport public pour la ville de Namur. Le seul test que nous pouvions réaliser, dans l'état actuel des données, est celui d'un transfert modal (5 %) de la voiture vers le transport public (bus à Namur) pour la demande à notre disposition.
4. Nouveau plan de circulation. La ville de Namur a adopté récemment un nouveau plan de circulation dont les premières phases ont débuté en 2000. Ce plan de circulation prévoit notamment la suppression de la possibilité de transiter par le centre de la ville, l'aménagement de certains carrefours de la Ceinture (remplacements de carrefours à feux par des giratoires), l'impossibilité de transiter devant la gare avec le report du transit derrière la gare où seront créées de nouvelles voiries avec une capacité supérieure à celle des voiries existantes. Du plan de circulation proposé, nous n'avons pris en compte que les modifications de l'infrastructure citées ci-dessus et nous avons simulé la situation avec la matrice O/D existante. Or, le plan de circulation comprend d'autres hypothèses comme un transfert modal (à l'aide de parkings de dissuasion notamment) ou des contrôles d'accès à l'extérieur de la ville permettant une entrée dans la ville plus fluide. Il est bien évident qu'avec ces hypothèses supplémentaires, nos résultats pourraient être différents mais, faute de données, nous n'en avons pas tenu compte.

Pour analyser les résultats de ces différentes simulations (voir chapitre suivant), l'Institut Wallon a développé un programme de récupération et de traitement des données sous ACCESS. Ce programme permet facilement de présenter les résultats de la simulation et l'évolution au cours des diverses périodes horaires. De même, ce programme permet de faire des comparaisons entre les différentes simulations et d'étudier sur toute la zone test (Namur) ou sur une seule rue l'impact de telle ou telle mesure en matière de transport. Nous décrivons plus avant ce programme en Annexe 1.

Une analyse cartographique des émissions est effectuée en localisant sur le réseau des routes de Namur les liens modélisés. Les émissions sont exprimées en grammes par mètre de voirie et réparties en 4 classes équivalentes représentées par des couleurs d'intensité croissante (vert pour les faibles concentrations à rouge pour les fortes concentrations).

4. Analyse des résultats obtenus

4.1. La situation témoin

4.1.1. Données globales

Le tableau suivant reprend les valeurs d'émissions pour divers polluants ainsi que le nombre de véhicules*lien (flow) qui sont passés sur le réseau pour chaque période de temps (1/4 d'heure) de la simulation témoin. Les pourcentages représentent, pour chaque polluant, la part de la période dans les émissions totales de ce polluant dans la simulation.

Cop III - Tem		Emissions en kilogrammes							
Période :	FLOW (Véh.*L)	CO	CO₂	DIOX	N₂O	NMVOC	NO_x	PM	SO₂
de 7:30 à 7:45	55 839 9.8%	542.4 9.5%	4 338.2 8.6%	6.1E-10 9.7%	0.289 9.7%	13.0 8.8%	31.1 8.1%	0.99 7.5%	0.89 8.8%
de 7:45 à 8:00	110 449 19.4%	1 030.8 18.1%	9 397.8 18.7%	1.2E-09 18.9%	0.557 18.7%	27.9 18.8%	69.0 18.0%	2.69 20.2%	1.88 18.6%
de 8:00 à 8:15	106 980 18.8%	1 005.1 17.7%	9 421.9 18.7%	1.2E-09 18.4%	0.579 19.5%	27.8 18.8%	72.3 18.9%	2.73 20.5%	1.88 18.6%
de 8:15 à 8:30	103 528 18.2%	1 077.6 18.9%	9 314.8 18.5%	1.0E-09 16.1%	0.596 20.0%	27.5 18.6%	76.4 19.9%	2.35 17.6%	1.87 18.5%
de 8:30 à 8:45	88 151 15.5%	913.5 16.0%	7 946.1 15.8%	1.1E-09 16.8%	0.482 16.2%	23.2 15.7%	63.0 16.4%	1.87 14.1%	1.59 15.8%
de 8:45 à 9:00	82 859 14.6%	850.0 14.9%	7 567.4 15.0%	9.9E-10 15.6%	0.353 11.9%	22.3 15.1%	56.6 14.8%	2.06 15.5%	1.52 15.1%
de 9:00 à 9:15	20 739 3.6%	274.2 4.8%	2 349.7 4.7%	2.9E-10 4.5%	0.118 4.0%	6.4 4.3%	14.7 3.8%	0.62 4.6%	0.48 4.7%
de 7:30 à 9:15	568 545 100%	5 694 100%	50 336 100%	6.3E-09 100%	2.98 100%	148.1 100%	383.2 100%	13.30 100%	10.10 100%

Tableau 18 : Emissions de la simulation témoin, quart d'heure par quart d'heure

Ces valeurs ne sont que des ordres de grandeurs, l'intérêt majeur de ces valeurs est surtout de pouvoir les comparer avec celles issues d'autres simulations et, à caractéristiques égales, permettre d'apprécier l'influence de l'un ou l'autre paramètre.

4.1.2. Cartographie

Nous représentons de manière cartographique la répartition des émissions de CO₂ au cours du temps, pour chaque 1/4 d'heure. Cela permet de voir la répartition et l'évolution spatiale des émissions sur chaque route. Les lignes « bleues » représentent le réseau non modélisé.

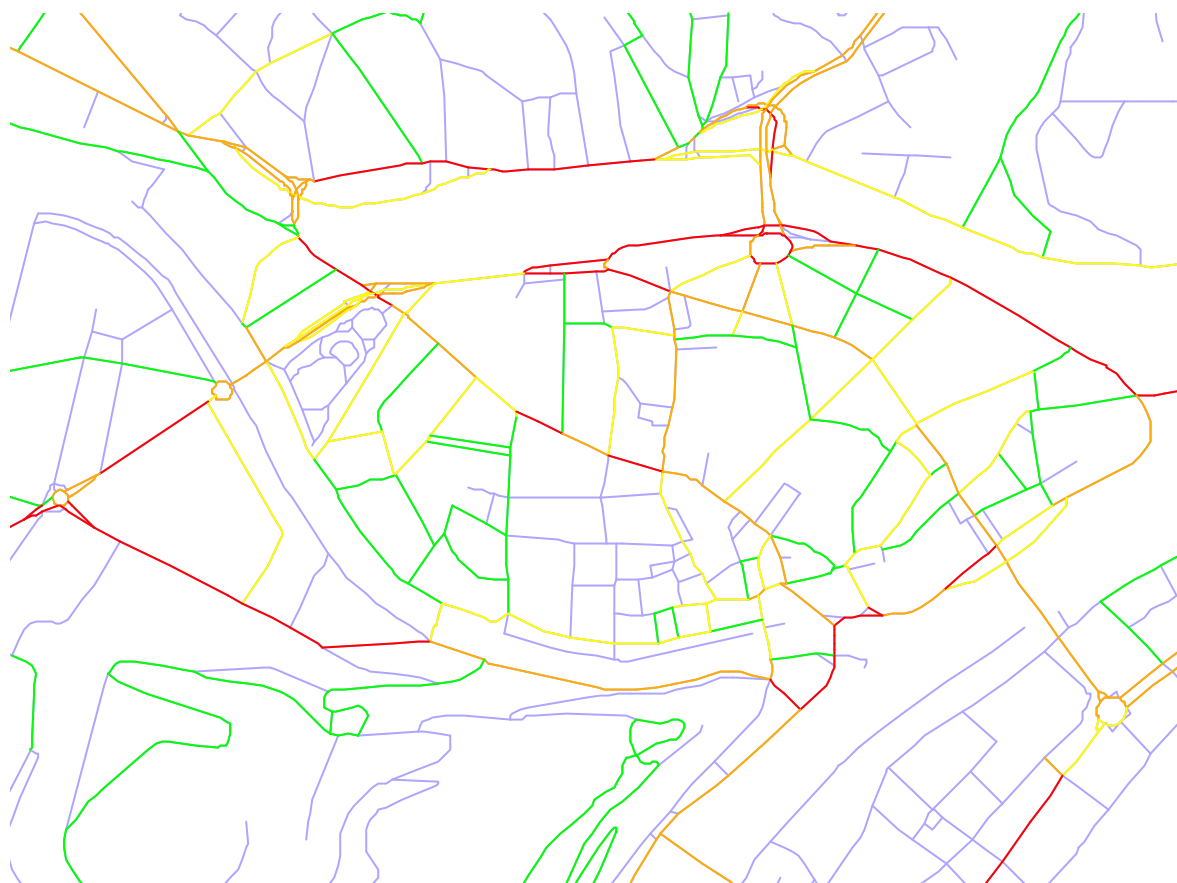


Figure 19 - Cartographie des émissions de CO2 de 7h30 à 7h45 - simulation témoin

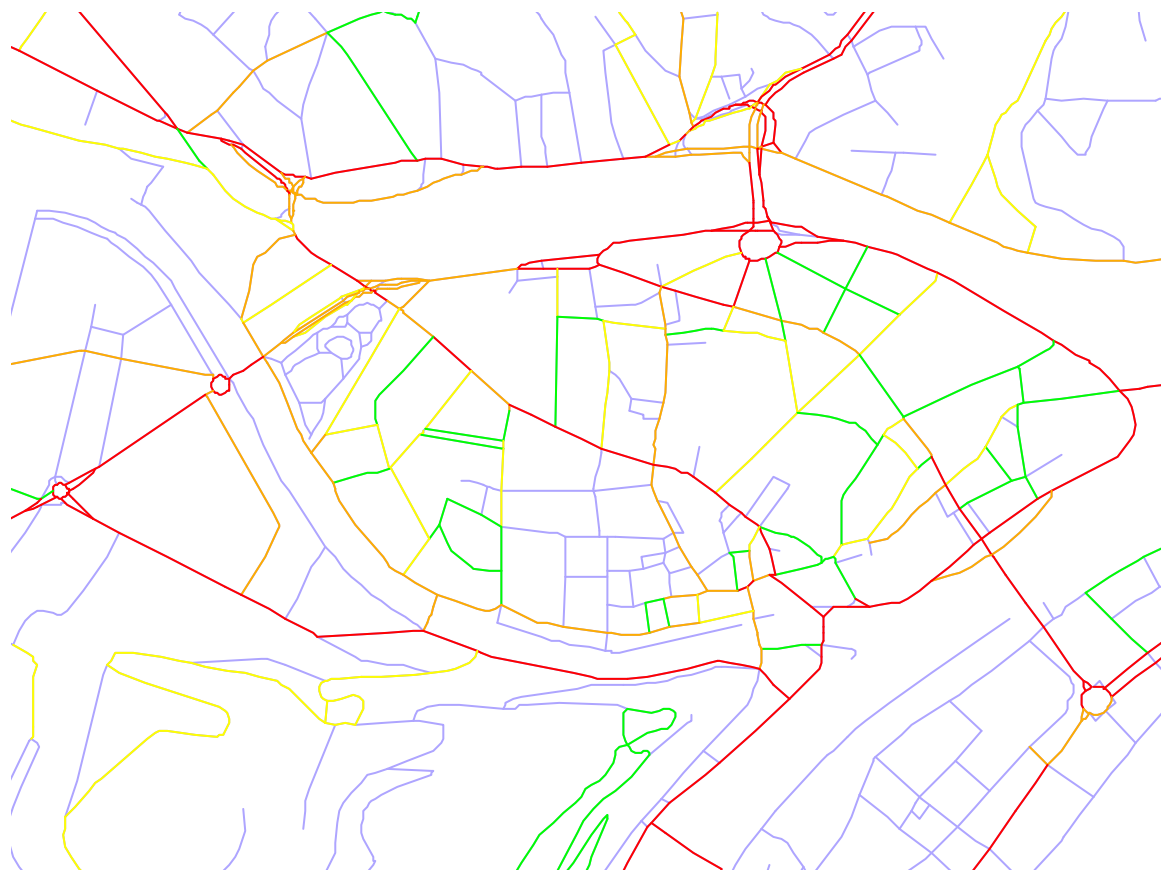


Figure 20 - Cartographie des émissions de CO2 de 7h45 à 8h00 - simulation témoin

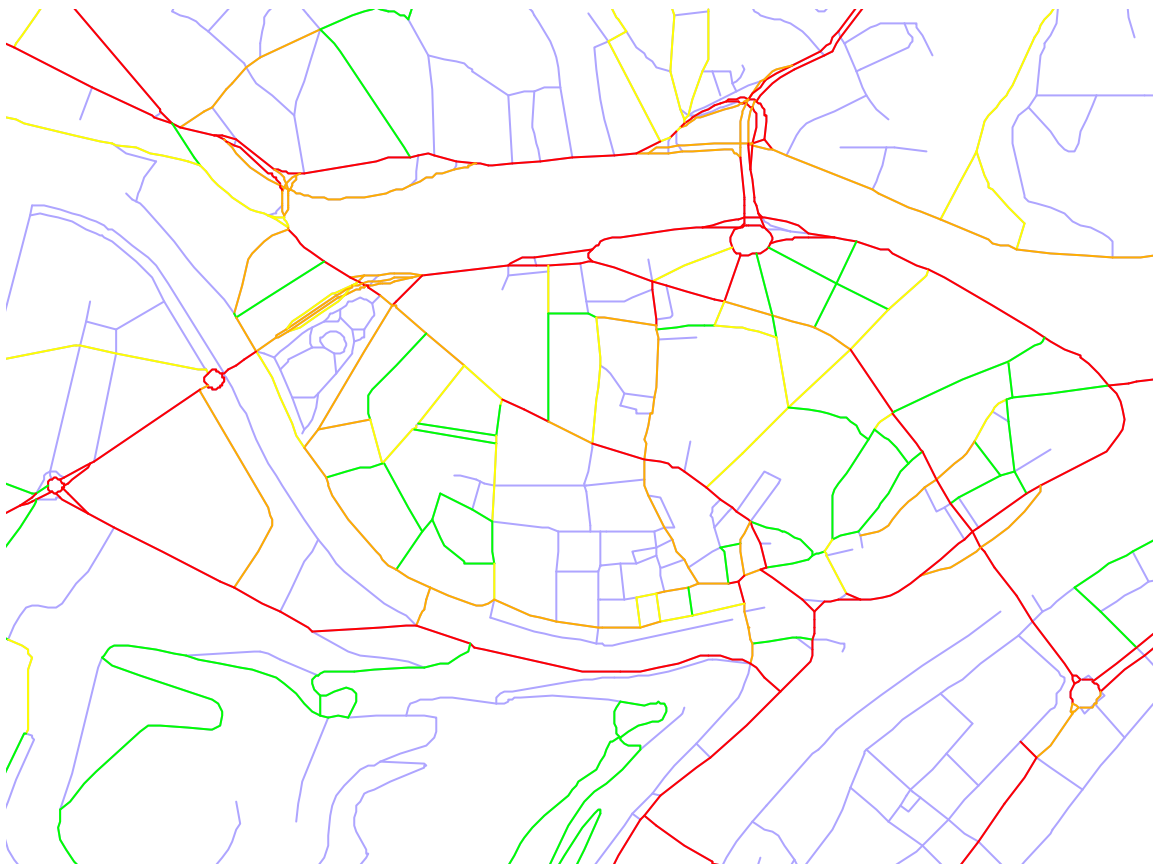


Figure 21 - Cartographie des émissions de CO2 de 8h00 à 8h15 - simulation témoin

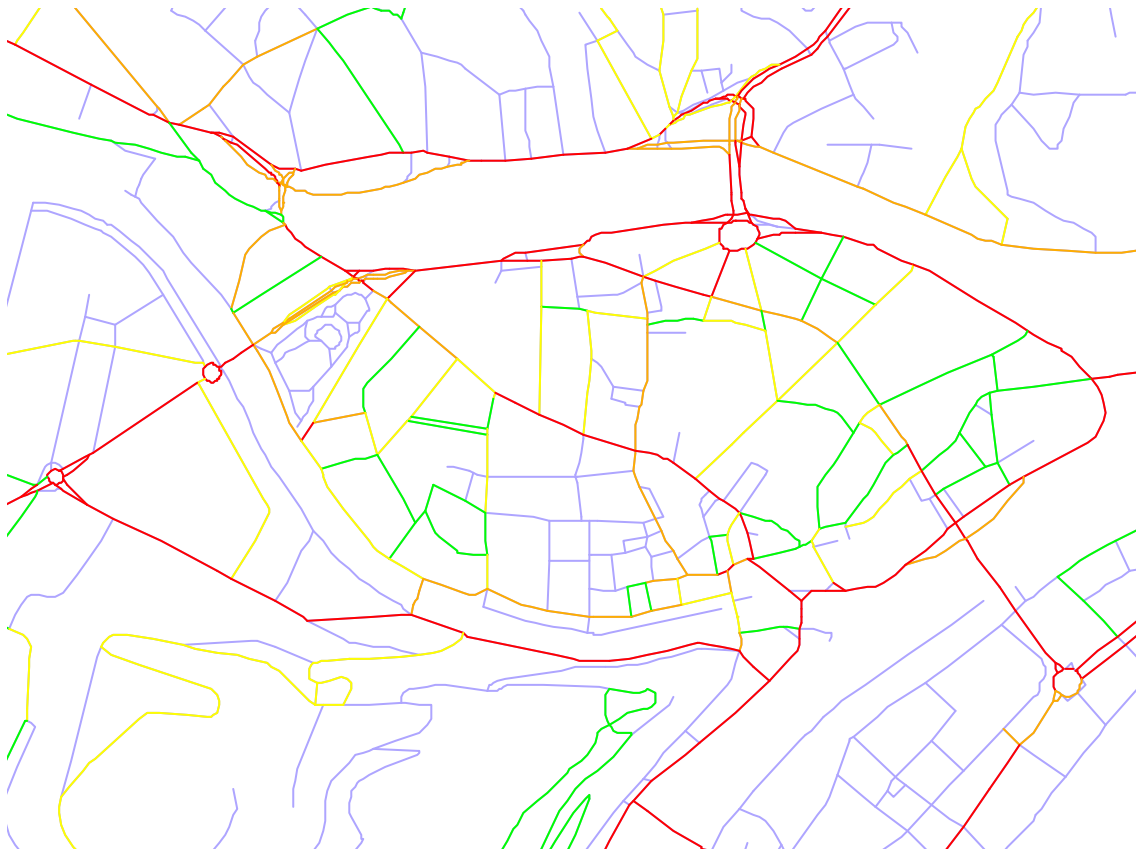


Figure 22 - Cartographie des émissions de CO2 de 8h15 à 8h30 - simulation témoin

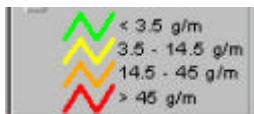
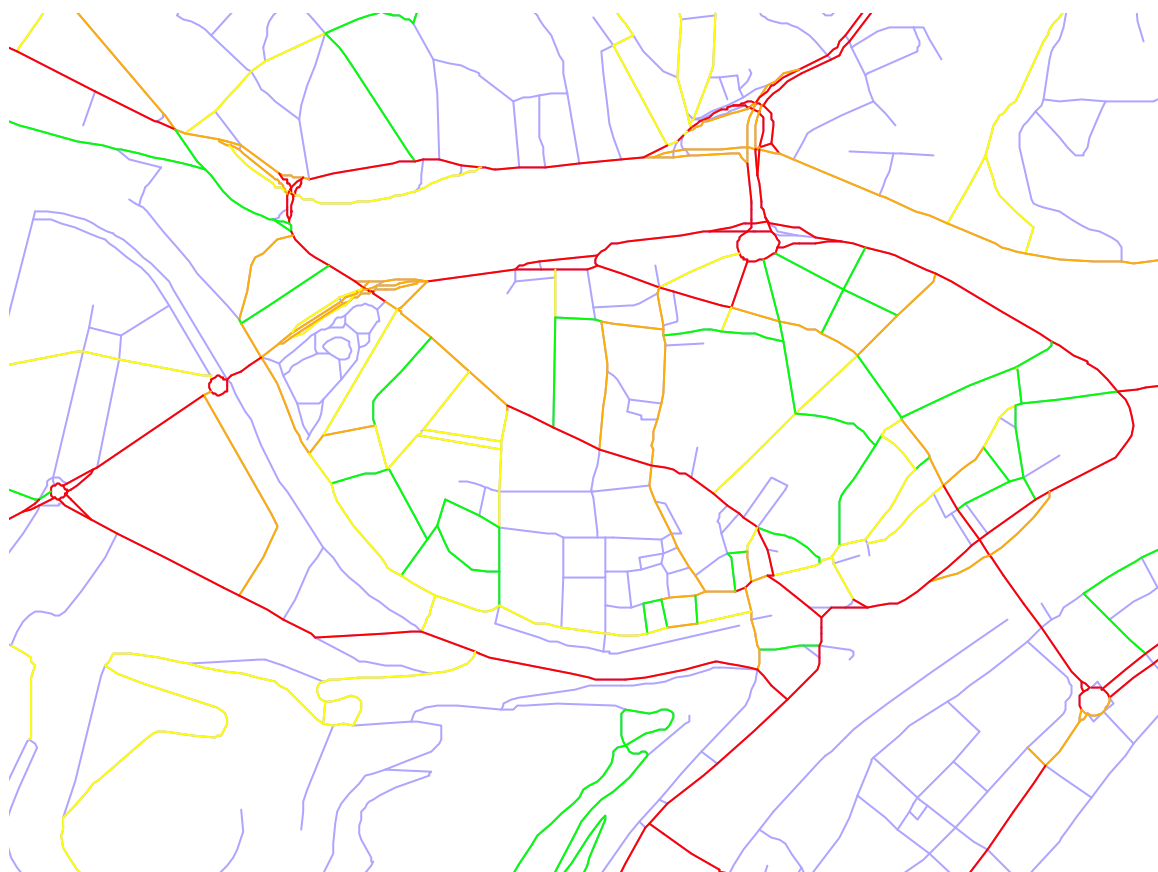


Figure 23 - Cartographie des émissions de CO2 de 8h30 à 8h45 - simulation témoin

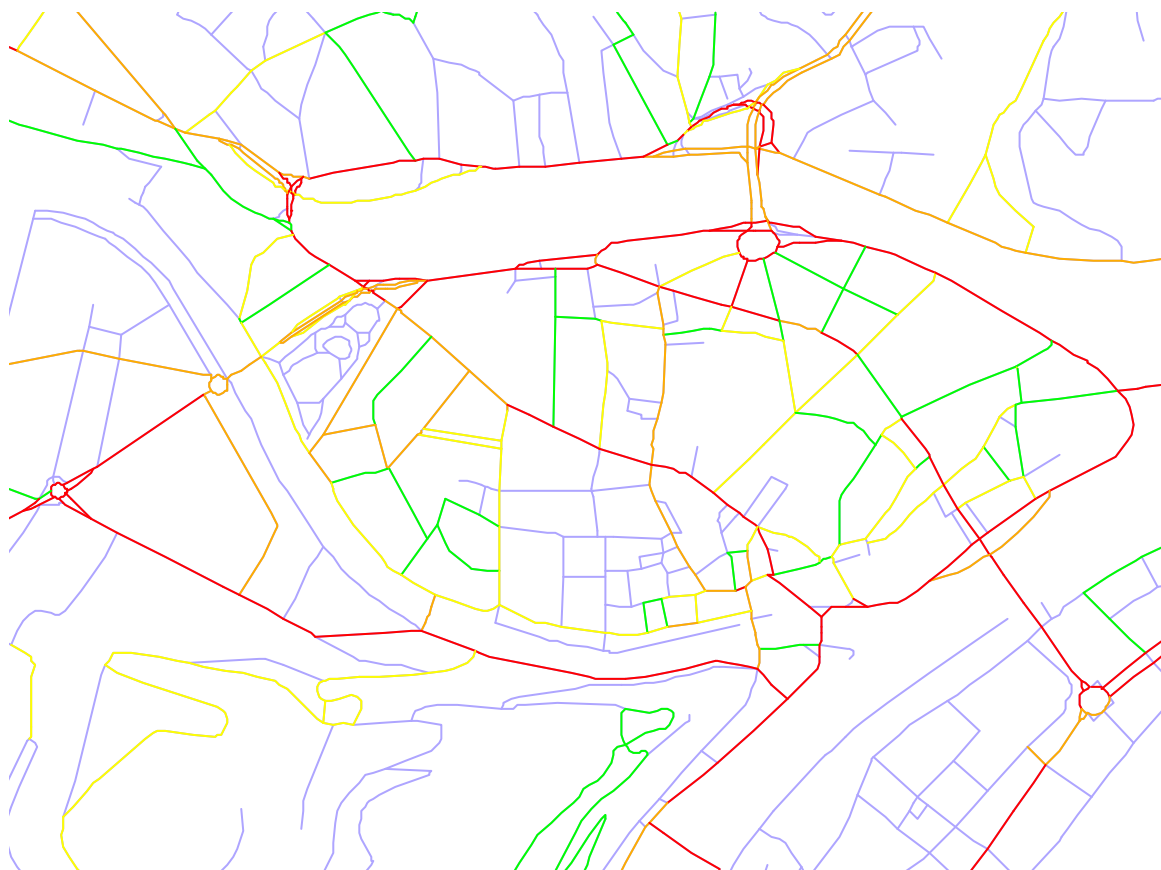


Figure 24 - Cartographie des émissions de CO2 de 8h45 à 9h00 - simulation témoin

4.1.3. Analyse localisée (quartiers - rues)

Une autre approche de l'analyse de la simulation est d'étudier plus finement ce qui se passe au niveau d'un quartier ou d'une rue. Le choix du paramètre à étudier est plus important car il ne sert pas à grand chose de voir qu'on émet plus de CO₂ dans telle rue plutôt que dans telle autre, ce polluant étant fort mobile et ayant des actions plus globales. Par contre les émissions de SO₂ ou de CO ont des répercussions locales plus importantes. Deux autres paramètres sont également utiles à étudier dans un cas plus local, il s'agit de la mesure de l'engorgement (bouchons) et du trafic. Les paramètres LOAD et FLOW permettent ce genre d'étude.

En tout 946 arcs sont modélisés, qui se répartissent dans 257 rues, regroupées elles-mêmes dans 37 quartiers. La longueur totale de la voirie modélisée dépasse les 410 kilomètres.

En Annexe 4 sont repris les quartiers et les rues qui le composent dans le cadre du modèle de simulation.

4.2. Comparaisons de simulations

4.2.1. Simulation de variation de températures ambiantes

Cop III - Ete		Emissions en kilogrammes							
Période :	FLOW (Véh.*L)	CO	CO ₂	DIOX	N ₂ O	NMVOC	NO _x	PM	SO ₂
de 7:30 à 7:45	55 839 9.8%	389.8 9.6%	4 246.1 8.6%	5.7E-10 9.7%	0.289 9.7%	13.0 8.8%	31.1 8.1%	0.99 7.5%	0.83 8.7%
de 7:45 à 8:00	110 449 19.4%	741.8 18.2%	9 193.5 18.7%	1.1E-09 18.9%	0.557 18.7%	27.9 18.8%	68.9 18.0%	2.69 20.2%	1.77 18.7%
de 8:00 à 8:15	106 980 18.8%	714.0 17.5%	9 201.8 18.7%	1.1E-09 18.3%	0.579 19.5%	27.8 18.8%	72.1 18.9%	2.73 20.5%	1.77 18.6%
de 8:15 à 8:30	103 528 18.2%	757.9 18.6%	9 118.9 18.5%	9.5E-10 16.1%	0.596 20.0%	27.5 18.6%	76.3 19.9%	2.35 17.6%	1.75 18.4%
de 8:30 à 8:45	88 151 15.5%	646.6 15.9%	7 776.0 15.8%	9.9E-10 16.8%	0.482 16.2%	23.2 15.7%	62.9 16.4%	1.87 14.1%	1.49 15.7%
de 8:45 à 9:00	82 859 14.6%	614.7 15.1%	7 392.5 15.0%	9.3E-10 15.7%	0.353 11.9%	22.3 15.1%	56.5 14.8%	2.06 15.5%	1.43 15.1%
de 9:00 à 9:15	20 739 3.6%	205.5 5.0%	2 297.3 4.7%	2.7E-10 4.5%	0.118 4.0%	6.4 4.3%	14.7 3.8%	0.62 4.6%	0.45 4.7%
de 7:30 à 9:15	568 545 100%	4 070 100%	49 226 100%	5.9E-09 100%	2.98 100%	148.1 100%	382.3 100%	13.30 100%	9.48 100%

Tableau 19 : Emissions de la simulation CopIII été, quart d'heure par quart d'heure

Cop III - Hiver		Emissions en kilogrammes							
Période :	FLOW (Véh.*L)	CO	CO ₂	DIOX	N ₂ O	NMVOC	NO _x	PM	SO ₂
de 7:30 à 7:45	55 839 9.8%	693.1 9.5%	4 429.2 8.6%	6.5E-10 9.7%	0.289 9.7%	13.0 8.8%	31.2 8.1%	0.99 7.5%	0.94 8.8%
de 7:45 à 8:00	110 449 19.4%	1 316.4 18.0%	9 599.8 18.7%	1.3E-09 18.8%	0.557 18.7%	27.9 18.8%	69.2 18.0%	2.69 20.2%	1.99 18.6%
de 8:00 à 8:15	106 980 18.8%	1 292.7 17.7%	9 639.3 18.7%	1.2E-09 18.4%	0.579 19.5%	27.8 18.8%	72.5 18.9%	2.73 20.5%	1.99 18.6%
de 8:15 à 8:30	103 528 18.2%	1 393.5 19.1%	9 508.5 18.5%	1.1E-09 16.2%	0.596 20.0%	27.5 18.6%	76.6 19.9%	2.35 17.6%	1.98 18.5%
de 8:30 à 8:45	88 151 15.5%	1 177.2 16.1%	8 114.1 15.8%	1.1E-09 16.8%	0.482 16.2%	23.2 15.7%	63.1 16.4%	1.87 14.1%	1.69 15.8%
de 8:45 à 9:00	82 859 14.6%	1 082.5 14.8%	7 740.1 15.0%	1.0E-09 15.6%	0.353 11.9%	22.3 15.1%	56.7 14.8%	2.06 15.5%	1.61 15.1%
de 9:00 à 9:15	20 739 3.6%	342.1 4.7%	2 401.4 4.7%	3.0E-10 4.5%	0.118 4.0%	6.4 4.3%	14.8 3.9%	0.62 4.6%	0.50 4.7%
de 7:30 à 9:15	568 545 100%	7 297 100%	51 432 100%	6.7E-09 100%	2.98 100%	148.1 100%	384.1 100%	13.30 100%	10.72 100%

Tableau 20 : Emissions de la simulation CopIII hiver, quart d'heure par quart d'heure

4.2.1.1. Paramètres (CO, NOx, CO₂)

D'une manière générale la simulation du trafic en hiver donne des émissions plus élevées que celles obtenues dans la simulation témoin, cette dernière suggérant des émissions plus importantes que celles de la simulation du trafic en été. Si nous observons les différences sur ces trois polluants, le premier (CO) est très sensible à la température, le second moins (NOx) et le CO₂ est directement lié à la consommation de carburant, elle même légèrement influencée par la température. La première figure montre les différences d'émission du CO entre les 3 simulations. Nous remarquons l'effet prépondérant des émissions «départ à froid » puisque dans la simulation en condition hivernale les émissions sont plus élevées de près de 30% par rapport à celles du «témoin ». Signalons que le trafic est resté inchangé entre les trois simulations, le flow est toujours de 568 545 véhicule*lien.

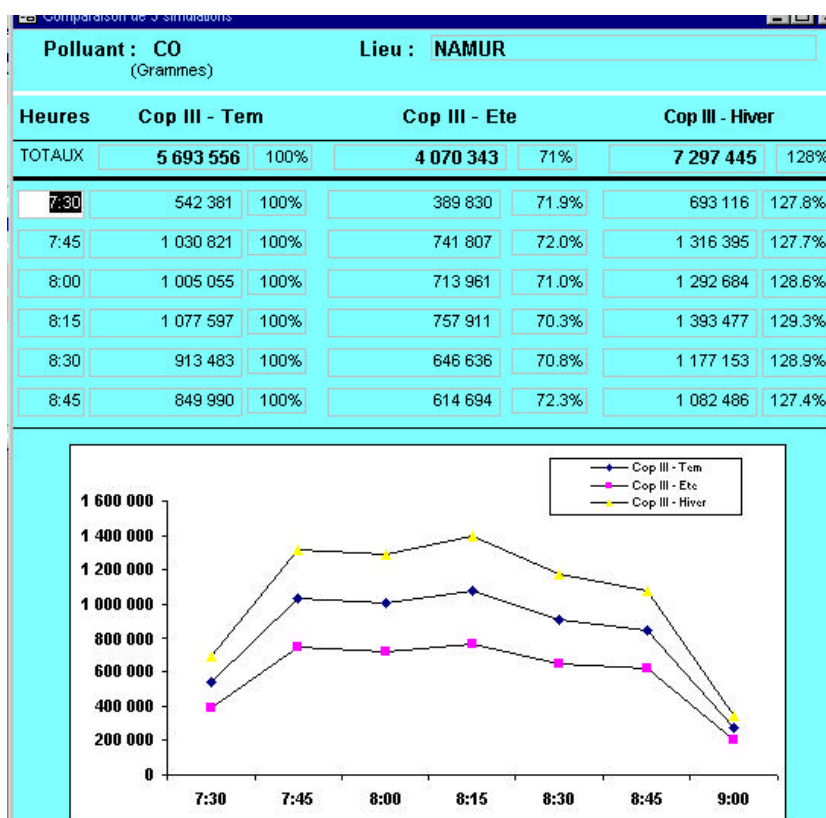


Figure 25 - comparaison des émissions de CO entre les 3 simulations, Namur 7h30 à 9h15

Pour les deux autres paramètres repris ci-dessous, les différences sont nettement moins significatives.

	Témoin	Eté		Hiver	
CO ₂ (kg)	50 335.8	49 226.1	98%	51 432.4	102%
NOx (kg)	383.2	382.3	100%	384.1	100%

Tableau 21 : Evolution du CO₂ et du NOx entre les 3 simulations, Namur 7h30 - 9h15

4.2.2. Simulation de réduction de limite de vitesse

La simulation consiste à «imposer » une vitesse maximale de 30 km/h dans la zone comprise à l'intérieur de la corbeille à Namur. Seul les rues périphériques sont restées à une vitesse normale. Deux phénomènes risquent d'apparaître et de produire des effets différents. D'une part les émissions devraient augmenter car à une vitesse moyenne plus faible, les formules d'émissions de COPERT nous renvoient des valeurs plus élevées et d'autre part, les navetteurs pourraient éviter le transit à travers le centre ville.

Cop III - 30kmh		Emissions en kilogrammes							
Période :	FLOW (Véh.*L)	CO	CO₂	DIOX	N₂O	NMVOC	NO_x	PM	SO₂
de 7:30 à 7:45	55 032 9.8%	541.7 9.1%	4 356.5 8.1%	6.1E-10 9.2%	0.291 9.7%	13.1 8.9%	31.1 8.0%	0.99 6.4%	0.89 8.3%
de 7:45 à 8:00	108 630 19.3%	1 024.3 17.3%	9 426.8 17.6%	1.2E-09 18.0%	0.555 18.5%	28.0 19.0%	69.0 17.8%	2.72 17.8%	1.88 17.7%
de 8:00 à 8:15	105 258 18.7%	1 002.0 16.9%	9 523.0 17.8%	1.1E-09 17.3%	0.582 19.5%	28.4 19.3%	72.9 18.8%	2.74 17.9%	1.89 17.7%
de 8:15 à 8:30	100 056 17.8%	1 069.7 18.1%	9 313.9 17.4%	1.1E-09 15.9%	0.590 19.7%	27.7 18.8%	75.3 19.5%	2.39 15.6%	1.86 17.4%
de 8:30 à 8:45	74 149 13.2%	787.3 13.3%	7 167.6 13.4%	8.6E-10 13.0%	0.458 15.3%	20.5 13.9%	57.5 14.9%	1.69 11.1%	1.42 13.3%
de 8:45 à 9:00	66 894 11.9%	733.3 12.4%	6 719.6 12.5%	8.8E-10 13.3%	0.305 10.2%	17.7 12.1%	49.0 12.7%	1.96 12.8%	1.34 12.5%
de 9:00 à 9:15	51 700 9.2%	763.8 12.9%	7 068.1 13.2%	8.8E-10 13.2%	0.211 7.0%	11.7 8.0%	32.4 8.4%	2.80 18.3%	1.39 13.0%
de 7:30 à 9:15	561 719 100%	5 922 100%	53 575 100%	6.6E-09 100%	2.99 100%	147.2 100%	387.2 100%	15.29 100%	10.66 100%

Tableau 22 : Emissions de la simulation CopIII 30 km/h, quart d'heure par quart d'heure

4.2.2.1. Paramètres (CO₂, NO_x, CO, FLOW)

Nous pouvons comparer cette simulation de réduction de vitesse avec la simulation témoin au travers des différents paramètres tels le CO₂ qui est un bon indicateur de la consommation, le FLOW qui représente le trafic en véhicule*lien et les NO_x et CO qui sont des polluants plus locaux.

	Témoin	Simulation 30 km/h	
CO ₂ (kg)	50 335.8	53 575.4	106%
NO _x (kg)	383.2	387.2	101%
CO (kg)	5 693.5	5 922.1	104%
FLOW (v*I)	568 545	561 719	99%

Tableau 23 : Evolution du CO₂, NO_x, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-30kmh, Namur 7h30 - 9h15

Pour les émissions, nous observons une légère tendance à la hausse, liée au fait que le minimum d'émissions dans les formules COPERT utilisées s'observent à une vitesse moyenne de 50-60 km/h. Or, nous influençons dans cette simulation la vitesse à la baisse.

Nous observons une très légère baisse du flow (1%) dans la période horaire considérée, ce qui traduit le fait que les véhicules prennent des trajets avec un nombre plus faible d'arcs comme alternative à la traversée du centre. Le centre est, en effet, caractérisé par un nombre plus important d'arcs, de par son réseau dense de rues et croisements, que les routes périphériques. Observons-nous la même tendance dans la corbeille ?

4.2.2.2. Analyse localisée (quartiers - rues)

Effectivement, au sein de la corbeille, nous notons une baisse très sensible du trafic et des émissions. Les navetteurs qui traversaient le centre ville pour se rendre de l'autre côté de Namur, évitent maintenant ce passage. Nous observons que l'augmentation d'émissions susceptible de se produire suite à la réduction de la vitesse est compensée par une forte diminution du trafic.

	Témoin	Simulation 30 km/h		Diff. absol.
CO ₂ (kg)	1 319.8	968.0	73%	-352
NOx (kg)	7.9	5.2	65%	-2.7
CO (kg)	206.5	156.0	76%	-49.5
FLOW (v*l)	53 696	24 129	45%	-29 567

Tableau 24 : Evolution du CO₂, NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-30kmh, dans la Corbeille 7h30 - 9h15

Nous pouvons voir que le trafic évitant le centre ville, se reporte sur les boulevards périphériques, les encombrant davantage et y augmentent de ce fait fortement les émissions. En effet, sur la ceinture périphérique de la corbeille, nous remarquons un accroissement du trafic de 15%, ce qui engendre des augmentations d'émissions proportionnelle de 4 à 13%. Nous avons donc un simple déplacement des émissions, sans les réduire.

	Témoin	Simulation 30 km/h		Diff. absol.
CO ₂ (kg)	6 168.6	6 993.4	113%	+824
NOx (kg)	36.7	37.7	104%	+1.0
CO (kg)	752.7	824.8	110%	+72.1
FLOW (v*l)	145 807	167 915	115%	+22 108

Tableau 25 : Evolution du CO₂, NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-30kmh, sur la ceinture 7h30 - 9h15

4.2.2.3. Cartographie à 8h00

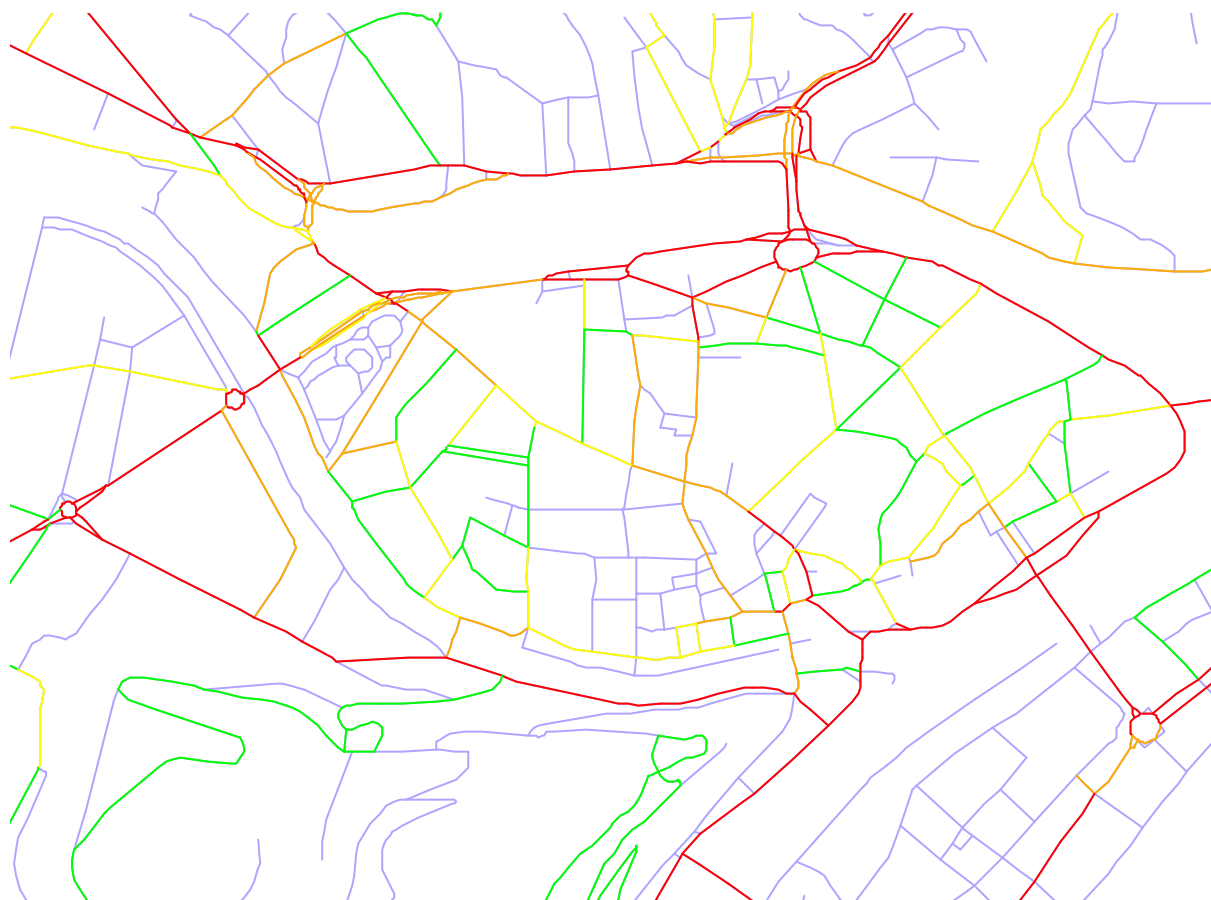


Figure 26 - Cartographie des émissions de CO2 de 8h00 à 8h15 - simulation 30 km/h

La Figure 26, à comparer avec la Figure 21 page 54, illustre de manière graphique les observations mentionnées ci-dessus, c'est-à-dire de fortes émissions sur les axes périphériques (couleur rouge) et une plus faible concentration des émissions à l'intérieur de la corbeille (couleurs verte et jaune prédominantes).

4.2.3. Simulation de l'aménagement de voirie

Le plan de circulation de Namur comporte des changements majeurs dans l'infrastructure routière. L'aménagement de carrefours en rond-points et la création de nouvelles voiries vont sensiblement augmenter le nombre de liens à prendre en compte dans notre modèle. Nous passons de 946 arcs modélisés dans le témoin à 1091 arcs dans le modèle du plan. Cet accroissement va directement influencer le paramètre « FLOW ». Il est donc très hasardeux de comparer ce paramètre entre les simulations étudiées.

Cop III - Plan		Emissions en kilogrammes							
Période :	FLOW (Véh.*L)	CO	CO₂	DIOX	N₂O	NMVOC	NO_x	PM	SO₂
de 7:30 à 7:45	68 925 9.4%	522.8 8.9%	4 330.9 8.0%	6.1E-10 8.6%	0.301 9.7%	13.0 8.5%	30.6 8.1%	0.94 6.1%	0.87 8.1%
de 7:45 à 8:00	135 564 18.5%	1 042.9 17.7%	9 649.2 17.9%	1.3E-09 18.3%	0.591 19.0%	29.9 19.5%	71.4 18.9%	2.42 15.8%	1.90 17.8%
de 8:00 à 8:15	134 783 18.4%	1 028.9 17.5%	9 579.6 17.7%	1.2E-09 16.4%	0.592 19.0%	29.3 19.1%	71.5 18.9%	2.56 16.7%	1.90 17.8%
de 8:15 à 8:30	127 737 17.4%	1 016.2 17.3%	9 499.5 17.6%	1.3E-09 17.8%	0.489 15.7%	29.8 19.4%	69.9 18.5%	2.95 19.2%	1.90 17.8%
de 8:30 à 8:45	112 006 15.3%	911.8 15.5%	8 103.2 15.0%	1.1E-09 15.7%	0.526 16.9%	23.5 15.3%	59.3 15.7%	1.92 12.5%	1.59 14.8%
de 8:45 à 9:00	97 687 13.3%	781.2 13.3%	7 515.3 13.9%	9.6E-10 13.5%	0.434 13.9%	20.0 13.0%	49.7 13.1%	2.44 15.9%	1.50 14.0%
de 9:00 à 9:15	56 149 7.7%	576.1 9.8%	5 298.5 9.8%	6.9E-10 9.7%	0.182 5.8%	7.9 5.2%	25.9 6.8%	2.12 13.8%	1.05 9.8%
de 7:30 à 9:15	732 851 100%	5 880 100%	53 976 100%	7.1E-09 100%	3.11 100%	153.6 100%	378.4 100%	15.36 100%	10.71 100%

Tableau 26 : Emissions de la simulation CopIII Plan, quart d'heure par quart d'heure

4.2.3.1. Paramètres (CO₂, NO_x, CO, FLOW)

	Témoin	Simul. plan Namur	
CO ₂ (kg)	50 335.8	53 976.2	107%
NO _x (kg)	383.2	378.4	99%
CO (kg)	5 693.6	5 879.6	103%
FLOW (v*I)	568 545	732 851	129%

Tableau 27 : Evolution du CO₂, NO_x, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Plan, Namur 7h30 - 9h15

Nous constatons bien dans le Tableau 27 l'augmentation du FLOW expliquée ci-dessus et nous observons une croissance légère, en général, des polluants à l'exception des NO_x.

4.2.3.2. Analyse localisée (quartiers - rues)

	Témoin	Simul. plan Namur		différence
CO ₂ (kg)	1 319.8	1 091.7	83%	-228
NOx (kg)	7.9	6.9	87%	-1.1
CO (kg)	206.5	154.1	75%	-53
FLOW (v*l)	53 696	47 176	88%	-6 520

Tableau 28 : Evolution du CO₂, NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Plan, dans la Corbeille 7h30 - 9h15

La réduction du FLOW s'explique par l'aménagement du centre de la ville. Précédemment il était possible de transiter par l'intérieur de la ville. Les aménagements apportés ne permettent plus ce genre de mouvements suite à la mise en place de sens uniques, de boucles, etc. Cette diminution de FLOW engendre bien sûr une diminution au niveau des émissions.

	Témoin	Simul. plan Namur		différence
CO ₂ (kg)	6 168.6	7 601.7	123%	+1 433
NOx (kg)	36.7	45.3	125%	+9.2
CO (kg)	752.7	914.9	122%	+162
FLOW (v*l)	145 807	276 150	189%	+130 343

Tableau 29 évolution du CO₂, NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Plan, sur la ceinture 7h30 - 9h15

La ceinture de la ville étant la principale cible des aménagements nous augmentons le nombre de liens de sorte que nous le doublons ainsi par rapport à la simulation témoin (103 à 221). Ceci explique l'augmentation très importante du FLOW.

De plus les conducteurs ne pouvant plus transiter par le centre se reportent donc sur la ceinture avec comme conséquence une augmentation sensible des émissions (de 22 à 25%) largement supérieure à la diminution enregistrée à l'intérieur de la corbeille (Tableau 28).

4.2.4. Comparaison entre réduction de vitesse et aménagement de voirie

4.2.4.1. Paramètres (CO₂, NOx, CO)

	Témoin	30 km/h		Plan	
CO ₂ (kg)	50 335.8	53 575.4	106%	53 976.2	107%
NOx (kg)	383.2	387.2	101%	378.4	99%
CO (kg)	5 693.6	5 922.1	104%	5 879.6	103%
FLOW (v*l)	568 545	561 719	99%	732 851	129%

Tableau 30 : Evolution du CO₂, CO, FLOW et du NOx entre les 3 simulations, Namur 7h30 - 9h15

Globalement sur la zone de Namur, il n'y a pas de différence significative entre les deux simulations étudiées en ce qui concerne les émissions de polluants. Rappelons que le FLOW plus élevé de la simulation plan est dû principalement au nombre plus élevé d'arcs dans le modèle du réseau.

4.2.4.2. Analyse localisée (quartiers - rues)

	Témoin	30 km/h		Plan	
CO ₂ (kg)	1 319.8	968.0	73%	1 091.7	83%
NOx (kg)	7.9	5.2	65%	6.9	87%
CO (kg)	206.5	156.0	76%	154.1	75%
FLOW (v*l)	53 696	24 129	45%	47 176	88%

Tableau 31 : Evolution du CO₂, CO, FLOW et du NOx entre les 3 simulations, corbeille 7h30 - 9h15

Nous constatons que, pour la corbeille, la simulation de limitation de vitesse à 30 km/h entraîne une réduction plus sensible des émissions et du trafic que les propositions de modifications d'aménagement de voirie, qui sont généralement plus « lourdes » à réaliser.

	Témoin	30 km/h		Plan	
CO ₂ (kg)	6 168.6	6 993.4	113%	7 601.7	123%
NOx (kg)	36.7	37.7	104%	45.3	125%
CO (kg)	752.7	824.8	110%	917.9	122%
FLOW (v*l)	145 807	167 915	115%	276 150	189%

Tableau 32 : Evolution du CO₂ , CO, FLOW et du NOx entre les 3 simulations, Ceinture 7h30 - 9h15

De même au niveau de la ceinture, le report du trafic de passage entraîne des augmentations d'émissions beaucoup plus importante avec la simulation du plan plutôt que la simulation à 30 km/h.

Dans ces deux quartiers analysés nous pouvons donc estimer que, toute proportion gardée, la solution de placer le centre à 30 km/h aurait un impact plus favorable localement, au point de vue des émissions, que le plan de circulation.

4.2.5. Variation du mode de déplacement : le bus

CopIII - Bus		Emissions en kilogrammes							
Période :	FLOW (Véh.*L)	CO	CO ₂	DIOX	N ₂ O	NMVOC	NO _x	PM	SO ₂
de 7:30 à 7:45	51 557 9.7%	500.3 9.2%	4 244.0 8.5%	5.9E-10 9.6%	0.282 9.9%	12.6 9.1%	31.0 8.3%	1.03 7.4%	0.85 8.6%
de 7:45 à 8:00	104 659 19.7%	968.3 17.8%	9 188.1 18.5%	1.1E-09 18.8%	0.536 18.9%	27.0 19.4%	67.4 18.1%	2.73 19.6%	1.82 18.4%
de 8:00 à 8:15	99 099 18.7%	939.2 17.3%	8 863.8 17.8%	1.1E-09 17.3%	0.548 19.3%	25.4 18.2%	68.7 18.5%	2.43 17.5%	1.77 17.9%
de 8:15 à 8:30	95 703 18.0%	1 008.9 18.5%	9 022.6 18.1%	9.8E-10 16.1%	0.566 20.0%	27.3 19.6%	74.1 19.9%	2.34 16.8%	1.79 18.1%
de 8:30 à 8:45	74 951 14.1%	779.2 14.3%	7 173.2 14.4%	9.2E-10 15.0%	0.439 15.5%	20.3 14.6%	58.6 15.7%	1.79 12.8%	1.42 14.4%
de 8:45 à 9:00	66 110 12.5%	699.4 12.9%	6 327.9 12.7%	8.4E-10 13.8%	0.301 10.6%	18.6 13.4%	48.9 13.1%	1.83 13.2%	1.27 12.8%
de 9:00 à 9:15	38 460 7.2%	544.7 10.0%	4 972.9 10.0%	5.8E-10 9.5%	0.164 5.8%	8.0 5.7%	23.5 6.3%	1.77 12.7%	0.97 9.8%
de 7:30 à 9:15	530 355 100%	5 440 100%	49 793 100%	6.1E-09 100%	2.84 100%	139.2 100%	372.2 100%	13.92 100%	9.88 100%

Tableau 33 : Emissions de la simulation CopIII Bus, quart d'heure par quart d'heure

4.2.5.1. Paramètres (CO₂, NO_x, CO)

	Témoin	Simul. Bus Namur	
CO ₂ (kg)	50 335.8	49 780.7	99%
NO _x (kg)	383.2	378.4	99%
CO (kg)	5 693.6	5 439.2	96%
FLOW (v*I)	568 545	530 025	93%

Tableau 34 : Evolution du CO₂, NO_x, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Bus, sur Namur 7h30 - 9h15

La réduction de FLOW de 7% n'engendre pas une réduction équivalente des émissions. La raison est la suivante, dans la simulation témoin nous n'avons pas intégré le réseau de transport en commun. En conséquence, la diminution des émissions pressentie suite à la réduction du FLOW est compensée par les émissions des bus, non prises en compte dans les autres simulations.

4.2.5.2. Analyse localisée (quartiers - rues)

	Témoin	Simul. Bus Namur		différence
CO ₂ (kg)	1 319.8	1 777.5	135%	+458
CO (kg)	206.5	238.4	115%	+32
NOx (kg)	7.9	9.3	117%	+1.4
FLOW (v*l)	53 696	47 162	88%	-6 534

Tableau 35 : Evolution du CO₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Bus, dans la Corbeille 7h30 - 9h15

	Témoin	Simul. Bus Namur		différence
CO ₂ (kg)	6 168.6	6 880.2	112%	+713
CO (kg)	752.7	778.4	103%	+26
NOx (kg)	36.1	36.1	100%	0
FLOW (v*l)	145 807	133 034	91%	-12 773

Tableau 36 : Evolution du CO₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Bus, sur la ceinture 7h30 - 9h15

La corbeille et la ceinture sont deux «quartiers » de la ville qui accueillent le plus de bus durant la période de simulation. La concentration de ces bus va engendrer des émissions de manière plus importante que la réduction obtenue par le transfert modal de la voiture vers les bus (réduction du FLOW).

Cette dernière observation est à relativiser fortement étant donné l'absence de circulation de bus dans la simulation témoin et la prise en compte de tous les trajets de bus (même à vide) dans la simulation bus.

Pour affiner cette comparaison, il nous aurait été utile d'obtenir une matrice origine destination des demandes de déplacements en transport en commun et de l'intégrer dans toutes les simulations. La simulation bus aurait alors consisté à « déplacer » un pourcentage de déplacement voiture vers les bus.

5. Conclusions et recommandations

5.1. Limite du modèle combiné

Un modèle étant la représentation formelle et simplifiée d'un phénomène du monde réel, son utilisation entraîne un certain nombre de choix et d'hypothèses à poser. Ceux-ci nous amènent à prendre certaines précautions vis-à-vis des résultats. En effet, il est illusoire de croire que les résultats des différents tests sont absolus ; néanmoins, il est raisonnable de penser qu'ils sont représentatifs de la réalité.

Un premier choix, imposé par les données disponibles, consistait à prendre en considération uniquement le trafic de véhicules privés. Les autres choix que nous avons posés lors de notre étude concernent le réseau ainsi que la position des centroïdes des attracteurs ou émetteurs de trafic. Pour le réseau, il est bien évident que modéliser l'ensemble des rues, ruelles et voies sans issue de la commune de Namur nous aurait amené à un réseau trop complexe. D'un autre côté, il est tout aussi impensable de faire démarrer (et/ou arriver) chaque demande de l'endroit précis où elle le fait. Par conséquent, nous sommes obligés de regrouper les origines et les destinations de notre demande en des points que nous appelons centroïdes. Ces simplifications de la réalité peuvent expliquer certaines différences entre les résultats obtenus par simulation et les flux observés dans la réalité. Le fait de combiner ce premier modèle (modèle de trafic) avec un second modèle (modèle de simulation des émissions) ne peut qu'engendrer un risque plus grand de moins bonne fiabilité des résultats. Toutefois, nous savons que les modèles pris séparément sont assez représentatifs de la réalité.

Par conséquent, nous pouvons dire que si les résultats de notre modèle combiné ne sont pas à prendre comme une absolue vérité, ils constituent un bon indicateur des tendances lorsque nous comparons divers scénarios.

5.2. Difficulté de mise en œuvre

La principale difficulté liée à l'utilisation d'un modèle comme le nôtre est la collecte de données nécessaires à son fonctionnement. En effet, il est relativement lourd et coûteux d'obtenir pour chaque région que nous voudrions modéliser des informations sur la longueur, la largeur, le nombre de bandes, la vitesse autorisée, la possibilité de parking pour chaque arc de notre réseau. Etant donné également, le niveau de précision de notre modèle, nous avons besoin de la description de l'ensemble des carrefours (priorités, les phases de feux, mouvements autorisés, etc.). Si nous voulons insérer les transports en commun, nous devons prendre en compte les horaires mais aussi les circuits effectués par ces transports en commun. En outre, il nous est nécessaire de posséder une matrice O/D suffisamment récente et fiable et de préférence multimodale.

De plus, il nous faut également récolter de l'information sur le parc automobile de la zone modélisée afin que la distribution aléatoire du type de véhicule privé suive la répartition de celui-ci. De même, si nous voulons calibrer le modèle sur cette nouvelle région, nous avons besoin de divers comptages routiers.

5.3. Intérêt de prédictions comparatives

L'intérêt majeur du modèle combiné trafic-émission est de permettre aux autorités compétentes, ou aux bureaux d'études, de prévoir, dans les limites et hypothèses du modèle, le double impact d'une politique active en matière de plan de circulation ou d'aménagement de voirie.

Le fait de pouvoir comparer plusieurs simulations sur une même zone offre l'avantage d'étoffer facilement la gamme des possibilités sans devoir les mettre en œuvre.

Une fois que le travail de modélisation du réseau est effectué, la mise à jour est relativement aisée et le modèle peut être opérationnel pour de nombreuses années.

5.4. Poursuite de l'étude

Il est bien évident que nous pourrions encore poursuivre nos recherches, notamment, en comparant notre modèle avec les résultats de modèles d'émissions instantanés comme celui de l'Ulg, du VITO ou de l'ULB.

Nous pourrions envisager également l'insertion d'un tel modèle instantané dans PACSIM mais il faut bien reconnaître que, pour l'instant, ces modèles n'apportent pas toutes les garanties de fiabilité.

6. Publications

Cornélis, E., Masquillier, B., Toint, Ph. (1999) Simulation of exhaust gas pollution within an event-driven multimodal dynamic traffic model, World Transport Research, proceedings of 8th World Conference on Transport Research, Volume 2 : planning, operation, management and control. Meersman, H., Van De Voorde, E., Winkelmanns, W., editors. Pergamon, pp. 227-236.

Masquillier, B. (1998) A traffic simulation model combined with pollutant emission simulation model, in proceedings of the 6th meeting of the EURO Working Group on Transportation, 9-11 September 1998, Göteborg (Sweden).

Simus, P., Masquillier, B., Cornélis, E., Saelens, S., Toint, Ph. (1999) Combination of a traffic simulation model with an emission simulation model, in proceedings of the 8th International Symposium « Transport and air pollution – including COST 319 Final Conference », 31 May – 2 June 1999, Graz (Austria).

GRT-IW (1998) Workshop day on pollution caused by road traffic. Namur, 27th april 1998. Speech by Mr R. Joumard (INRETS, France), Mr A. Ricci (ISIS, Italy), Mr E. Negrenti (ENEA, Italy), Mr B. Masquillier (GRT, Belgium) and Mr P. Simus (IW, Belgium).

7. BIBLIOGRAPHIE

- B 1** CEMT, 1997. CO₂ emissions from transport, European Conference of Ministers of Transport
- B 2** CERTU, 1997. Pollutions atmosphériques et circulation routière, données de base, Dossiers du CERTU
- B 3** Cornelis E., De Vleeschouwer M., Toint Ph., Wang B., 1996. ATEs : Another Traffic Equilibrium Software, Manuel d'utilisation. Rapport interne du GRT 96/13.
- B 4** Cornelis E., Toint Ph., 1998. PACSIM : a new dynamic behavioural model for multimodal traffic assignment, in proceedings of the NATO ASI on Operations research and decision aid methodologies in traffic and transportation management, Labbé, Laporte, Tanczos and Toint editors, Springer.
- B 5** Dehoux Ph., Manneback P., Toint Ph., 1990. PACSIM : a dynamical traffic assignment model : functional analysis, rapport interne du GRT 90/na.
- B 6** Dehoux Ph., Toint Ph., 1991. Some comments on dynamic modelling in the presence of advanced driver information systems, in Advanced Telematics in Road Transport, Elsevier, pp.964-981.
- B 7** GRT - IW, 1998. Workshop day on pollution caused by road traffic. Projet SSTC. Namur, 27 avril 1998.
- B 8** GRT, 1998. Rapport intermédiaire juillet - décembre 1997, projet SSTC. Groupe de Recherche sur les Transports, FNDP, Namur
- B 9** GRT, 1998. Rapport intermédiaire juillet - décembre 1997, projet SSTC. Groupe de Recherche sur les Transports, FNDP, Namur
- B 10** GRT, 1998. Rapport intermédiaire juillet - décembre 1997, projet SSTC. Groupe de Recherche sur les Transports, FNDP, Namur
- B 11** INRETS, 1990. Emissions unitaires de polluants des véhicules légers, rapport n°116. Institut National de recherche sur les Transports et leur Sécurité, Bron Cedex, France.
- B 12** INRETS, 1995. Evolution des émissions de polluants des voitures particulières lors du départ moteur froid, rapport n°197. Institut National de recherche sur les Transports et leur Sécurité, Bron Cedex, France.
- B 13** INS, 1999. Parc des Véhicules à Moteur. Situation au 1 août 1998. Institut National de Statistique, MAE
- B 14** Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS). Evolution des émissions de polluants par les transports de 1970 à 2010.
- B 15** Institut Wallon, 1999. Bilans énergétiques de la Région de Bruxelles-Capitale 97 - Emissions atmosphériques du transport routier. IW, Namur.
- B 16** IW, 1997 ; Inventaire des Emissions atmosphériques en Wallonie, évolution des émissions entre 1990 et 1996. Rapport du 30/11/1999. Ministère de la Région Wallonne- DGRNE
- B 17** IW, 1997 ; Rapport intermédiaire décembre 1996- juin 1997, projet SSTC. Institut Wallon.
- B 18** IW, 1997. Collecte de données sur les émissions atmosphériques liées à des consommations énergétiques en Région de Bruxelles-Capitale 1995. IBGE.

- B 19** IW, 1998. Rapport intermédiaire juillet - décembre 1997, projet SSTC. Institut Wallon, Namur
- B 20** IW, 1999 ; Bilan énergétique de la Région de Bruxelles-Capitale 97, émissions atmosphériques du transport routier. Rapport avril 99. IBGE, service énergie.
- B 21** IW, 1999 ; Bilan énergétique de la Région de Bruxelles-Capitale 97, Rapport final avril 99. IBGE, service énergie.
- B 22** MCI, 1999. Recensement de la circulation 1998, N°15. Ministère des Communications et de l'Infrastructure
- B 23** Ntziachristos L., Samaras Z, 1997. COPERT II, Computer programme to calculate Emissions from Road transport, User's manual. E.E.A., European topic centre on air emission, EEA/??/97
- B 24** Ntziachristos L., Samaras Z, 1999. COPERT III, Computer programme to calculate Emissions from Road transport, Methodology and emission factors. European Environment Agency, European topic centre on air emission, Draft report, July 1999
- B 25** Sheffi Y., 1985. Urban Transportation networks : equilibrium analysis with mathematical programming methods, Prentice Hall.
- B 26** STRATEC, 1992. Ajustement du modèle de trafic, Convention AGIR - Etude de transport routier à Namur, Rapport (h) et errata du rapport (h).

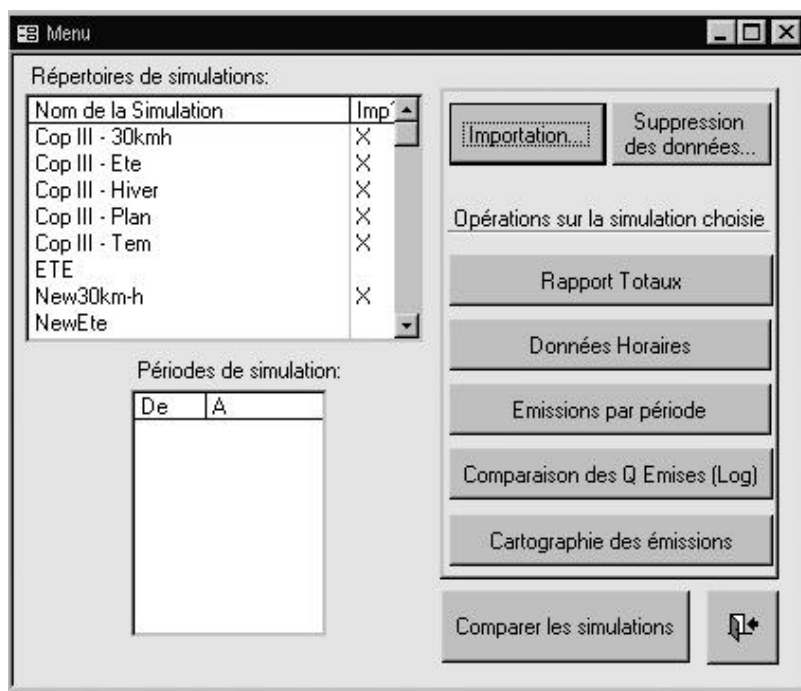
ANNEXE 1 :
PRESENTATION DU PROGRAMME ACCESS

1. Introduction

Le programme de récupération et de traitement des données de simulation a été développé sous Microsoft ACCESS®.

2. Démarrage

Lors du lancement du programme, une première fenêtre apparaît comme ceci :



Dans le cadre supérieur gauche apparaissent les simulations présentes dans le dossier (directory) contenant les fichiers, la croix indique si les données ont été importées dans le programme. En cas d'absence de cette croix, il est possible de les importer d'un click sur le bouton « **importation...** », on peut aussi enlever les données sélectionnées à l'aide du bouton « **Suppression des données...** » cette action ne fait que nettoyer la table des données, la source des données n'étant pas supprimée.

Lorsque l'on sélectionne dans le cadre gauche une des simulations, les périodes de simulations apparaissent dans le cadre sous-jacent.

Après sélection de la simulation, il est possible de présenter les résultats sous forme de « **Rapports totaux** », « **Données Horaires** », « **Emissions par période** » ou « **Comparaisons des Q Emises (Log)** » en cliquant sur les boutons correspondants.

Le bouton « **Cartographie des émissions** » permet de préparer un fichier pour l'exportation des données vers le programme Arc View.

Finalement une dernière option est offerte et permet de comparer des simulations deux à deux ou trois à trois en sélectionnant le bouton « **Comparer les simulations** ».

Les opérations sur la simulation choisie sont explicitées ci-après.

2.1. Rapports totaux

2.2. Données horaires

Lorsque l'on sélectionne le bouton **données horaires**, un sous formulaire apparaît permettant de sélectionner un polluant parmi ceux étudiés.

Nom de la Simulation Imp? Importation... Suppression des données...

Bus X
ETE X
-HIVER
Simulation 30 l
Simulation Old
Simulation tém

Polluants: CO, CO2, DIOX, N2O, NMVOC, NOX, PM, SO2

Horaires

par période

Emises (Log)

Comparer les simulations

Périodes de simulation:

De	A
07:30	07:45
07:45	08:00
08:00	08:15
08:15	08:30
08:30	08:45
08:45	09:00

Un tableau croisé apparaît alors avec les quantités émises par tranche horaire et par tronçon de rue (LINK).

DtaReflnk	7:30:00	7:45:00	8:00:00	8:15:00	8:30:00	8:45:00
1100211101	134 148.23	236 603.39	223 889.83	202 858.76	153 460.75	149 406.33
1100311105	6 336.95	9 716.22	9 619.24	8 960.58	7 515.94	6 647.39
1100412103	46 423.66	60 810.79	67 398.73	81 646.01	51 400.33	54 329.23
1100620132	441.71	1 587.50	1 390.75	963.45	758.76	1 061.45
1100611117	58 142.47	110 691.81	69 670.20	100 489.55	78 324.11	44 080.52
1100620133	13 714.39	27 289.89	22 961.24	26 218.84	13 920.34	17 038.92
1101011116	109 913.02	171 711.41	177 261.09	92 000.23	56 820.43	150 340.64
1101120144	21 246.93	41 413.05	29 631.03	18 822.65	18 969.00	12 959.47
1101211154	35 752.21	60 434.16	62 354.89	64 180.60	38 799.95	33 544.48
1101311145	1 421.38	2 593.74	1 808.93	2 175.36	2 707.56	1 901.62
1101411144	79 764.16	118 696.24	91 979.23	70 839.67	100 658.12	128 043.77
1101611156	36 055.67	65 293.91	56 806.39	47 498.44	55 591.00	27 207.81
1101711157	15 295.99	15 075.53	12 141.90	14 671.29	20 189.67	14 869.50
1101811158	114 150.15	98 129.19	85 545.04	141 864.78	139 326.66	104 639.14
1101911156	442.63	1 143.69	1 624.36	956.44	979.46	929.23
1102012131	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1102112117	23 750.10	37 596.94	27 911.61	21 477.50	33 077.26	26 836.53
1102212101	34 975.40	40 552.77	39 522.72	39 434.13	32 182.85	30 501.23
1102320251	5 433.57	33 836.30	29 838.73	22 247.49	10 792.18	10 345.81
1102420254	9 037.83	34 290.75	27 721.22	26 939.22	15 689.04	9 591.87
1102620254	7 660.00	14 300.70	14 290.51	11 233.74	12 364.91	11 977.54
1102620256	62 100.16	73 771.99	96 663.46	92 192.35	56 910.03	56 879.34
1110111002	43 137.32	80 761.16	95 443.94	113 099.23	82 630.60	65 660.01
1110111102	23 296.02	40 768.82	36 120.24	35 593.73	23 917.90	26 293.00
1110111106	50 621.25	91 030.26	87 325.89	76 153.59	60 367.77	56 061.14
1110211105	14 114.34	28 069.38	27 250.02	34 041.15	25 049.08	24 727.23
1110211106	29 019.17	56 073.95	71 788.58	84 400.62	54 446.27	49 066.69
1110212102	16 200.78	38 588.18	36 105.66	26 452.50	25 411.12	27 817.04
1110511003	1 635.36	6 040.80	4 883.92	4 689.06	1 798.85	5 636.95
1110511101	30 349.21	54 740.04	57 803.11	71 897.92	60 305.38	45 845.46
1110511102	10 056.32	33 702.10	34 101.78	18 965.19	25 155.62	26 645.18
1110611101	2 147.15	4 242.49	10 783.50	10 134.70	1 614.62	2 896.44
1110611105	5 205.29	34 141.53	34 825.76	14 622.07	24 339.43	27 882.62

2.3. Emissions par période

En sélectionnant le bouton **Emissions par période**, on obtient le tableau suivant qui présente les quantités de polluants émises par tranche horaire et leur pourcentage relatif par rapport à la période complète (dans cet exemple de 7h30 à 9h00).

Evolution des émissions par période horaire à Namur

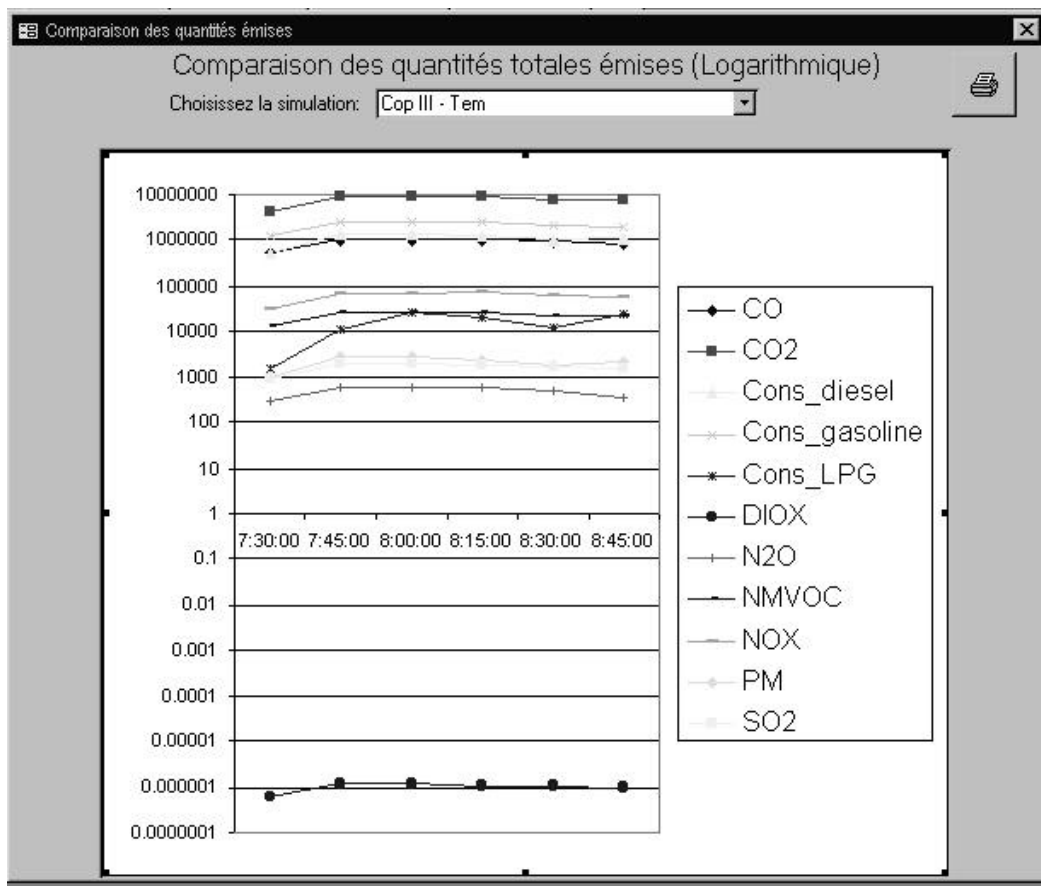
Simulation témoin

Emissions en kilogrammes

Période :		Nb Véh.*Link	CO	CO2	DIOX	N2O	NMVO	NOX	PM	SO2
de 7:30	7:45	57 580 10.2%	542.4 10.0%	4 338.2 9.0%	6.1E-10 10.2%	0.289 10.1%	13.0 9.2%	31.1 8.5%	0.99 7.8%	0.89 9.2%
de 7:45	8:00	113 739 20.2%	1 030.8 19.0%	9 397.8 19.6%	1.2E-09 19.8%	0.557 19.5%	27.9 19.7%	69.0 18.7%	2.69 21.2%	1.88 19.5%
de 8:00	8:15	110 144 19.5%	1 005.1 18.5%	9 421.9 19.6%	1.2E-09 19.3%	0.579 20.3%	27.8 19.6%	72.3 19.6%	2.73 21.5%	1.88 19.5%
de 8:15	8:30	106 716 18.9%	1 077.6 19.9%	9 314.8 19.4%	1.0E-09 16.9%	0.596 20.9%	27.5 19.4%	76.4 20.7%	2.35 18.5%	1.87 19.4%
de 8:30	8:45	91 029 16.1%	913.5 16.9%	7 946.1 16.6%	1.1E-09 17.6%	0.482 16.9%	23.2 16.4%	63.0 17.1%	1.87 14.8%	1.59 16.5%
de 8:45	9:00	84 948 15.1%	850.0 15.7%	7 567.4 15.8%	9.9E-10 16.4%	0.353 12.4%	22.3 15.7%	56.6 15.4%	2.06 16.2%	1.52 15.8%
de 7:30	9:00	564 156	5 419	47 986	6.0E-09	2.86	141.7	368.4	12.69	9.63

2.4. Comparaisons des Q Emises (Log)

Cette option permet de visualiser les évolutions pendant la période étudiée des différents paramètres et de déceler d'éventuelles anomalies ou particularités. Comme on peut l'observer ci-dessous pour la simulation témoin, une belle homogénéité caractérise les émissions temporelles de polluants.



2.5. Comparer les simulations

En cliquant sur ce bouton, un sous menu apparaît :



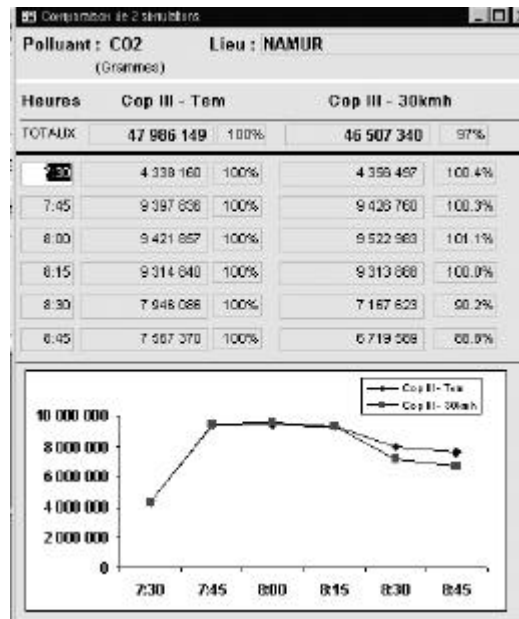
Il est possible d'y choisir la comparaison deux à deux ou trois à trois des simulations sélectionnées. Une première option « **Comparaison tous polluants** » va créer un tableau similaire à celui repris dans le chapitre émission par période, il y aura un tableau pour chaque simulation choisie.

L'autre option permet de comparer pour un polluant choisi « **Choix du paramètre :** », l'évolution des émissions pour un lieu « **choisir par** » :

- par segment : la zone test entière (Namur) à l'aide de l'étoile * ou un tronçon de rue en encodant sa valeur
- par rue : pour une rue du modèle, à sélectionner dans le menu déroulant
- par quartier : pour un quartier du modèle à sélectionner dans le menu déroulant.

Une fois les sélections effectuées, on lance le calcul en actionnant « **Comparaison du polluant** ». Un tableau apparaît ensuite qui reprend les émissions, période par période, des simulations et leur comparaison en indice 100.

Voici un exemple pour le CO₂ à Namur en comparant la simulation témoin et la simulation à 30 km/h



ANNEXE 2 :
PRESENTATION DES FORMULES D'EMISSIONS

Emissions à froid de l'INRETS

Le calcul des émissions à froid est basé sur la mesure des quantités d'émissions supplémentaires (ou surémissions) dues au moteur froid, émissions dépendantes des conditions de température (plus il fait chaud, moins on émet), de vitesse et de distance parcourue. En effet pour cette dernière variable, il faut tenir compte du fait que le trajet pourrait être suffisamment court pour que la totalité des surémissions ne soit pas atteinte.

Dans le tableau ci-après les formules de l'INRETS sont reprises, nous noterons que tous les polluants et que toutes les catégories de véhicules ne sont pas couverts.

Technologie	Pollut	β (g)	Fonction f(V)	Fonction g(T)	Fonction h(d/dc)	
					a	Fonction dc(V)
Voiture essence avec catalyseur	CO ₂	132.46	0.0034V+0.9321	1	3.01	0.29V-0.05
	CO	28.71	-0.0013V+1.0261	-0.2591T+6.1829	10.11	0.24V-0.14
	HC	4.62	-0.0053V+1.1060	-0.1317T+3.6331	7.02	0.06V+2.19
	NOx	1.77	0.0636V-0.2712	1	2.30	0.19V+3.40
	FC	59.79	0.0015V+0.9707	-0.0555T+2.1092	7.55	0.24V+0.54
Voiture diesel sans catalyseur	CO ₂	182.57	1	-0.0458T+1.9163	3.95	0.15V+2.68
	CO	2.18	-0.0185V+1.3704	-0.0602T+2.2048	3.43	0.04V+5.42
	HC	0.82	-0.0163V+1.3252	-0.0976T+2.9512	2.48	0.09V+1.94
	NOx	0.06	-0.0227V+1.4545	-0.0893T+2.7857	0.89	0.02V+2.83
	FC	62.95	1	-0.0439T+1.8787	11.46	0.28V+0.47
Voiture essence sans catalyseur	CO ₂	144.16	-0.0101V+1.2024	1	2.85	0.15V+2.68
	CO	63.51	0.0288V+0.4245	-0.0918T+2.8360	6.70	0.04V+5.42
	HC	8.23	0.0142V+0.7154	-0.1344T+3.6888	10.96	0.09V+1.94
	NOx	-0.30	0.1136V-1.2727	1	2.54	0.02V+2.83
	FC	83.71	0.0064V+0.8716	-0.0431T+1.8618	7.97	0.28V+0.47

Tableau 37 : Fonctions requises pour le calcul des surémissions en fonction de la quantité émise β (g), la vitesse moyenne (V en km/h), la température ambiante (T en °c) et la distance parcourue (d et dc en km).

Modèle d'émission COPERT III

Les données de calcul du modèle COPERT III sont fournies ci-après pour illustration.

ANNEXE 3 :
ABSTRACT « COMBINATION OF A TRAFFIC SIMULATION MODEL WITH AN
EMISSION SIMULATION MODEL » COST 319 SYMPOSIUM



8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM - TRANSPORT AND AIR POLLUTION

GRAZ, 31 may - 2 June 1999

Poster Presentation :
*Combination of a traffic simulation model
with an emission simulation model*

FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX - GROUPE DE RECHERCHES SUR LES TRANSPORTS (GRT)
Rempart de la Vierge 8 à 5000 NAMUR
Tél : +32.81.72.49.25 - Fax : +32.81.72.49.14 - E-mail : pht@math.fundp.ac.be

INSTITUT WALLON DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE ET SOCIAL ET D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ASBL
Boulevard Frère Orban, 4 à 5000 NAMUR
Tél : +32.81.25.04.80 - Fax : +32.81.25.04.90 - E-mail : iwallon@mail.interpac.be

Combination of a traffic simulation model with an emission simulation model

P. SIMUS¹, B. MASQUILIER², E. CORNELIS², S. SAELENS¹, P. TOINT²

¹ Institut Wallon de développement économique et social et d'aménagement du territoire asbl, Bd frère Orban, 4 B-5000 NAMUR, BELGIUM - Pascal.simus@iwallon.be

² Transportation research group, University Faculties Notre Dame de la Paix Rempart de la Vierge, 8 B-5000 NAMUR, BELGIUM - bm@math.fundp.ac.be

ABSTRACT

The aim of this study is to combine of an event-driven multimodal dynamic traffic model (PACSIM) with models for the estimation of pollution caused by transport exhaust gases in an urban environment.

The nature of the PACSIM model and the reasons for considering it in the framework of pollution assessment are first discussed. We then consider the particular pollutant emission models used (COPERT II and INRETS cold emission model) and discuss their scope and parameters, as well as their integration within PACSIM.

We conclude by illustrating the use of the combined traffic/pollution model in the context of a speed enforcement policy within selected urban neighbourhood zones of Namur, a small Belgian city.

Key words : Pollution, traffic emission, dynamic, drivers behaviour, multimodality

3. INTRODUCTION

The pollution level, one of the most important environment problems, has become worrying mainly in the urban areas because of the growing traffic. It is therefore essential for the public decision makers to consider strategies that aim at reducing this pollution as much as possible, and, as a consequence, to search for tools for the assessment of the effects of these strategies. Even if the analysis of the pollution caused by road traffic is possible on the basis of field measurements of some pollutants such as CO, CO₂, NO_x or heavy metals, this technique does not allow to assess policies not yet implemented. That is the reason why one needs modelling tools able to predict, at a global level or at the local scale, the impacts of new political decisions on environment.

In order to reduce the pollution levels, several aspects are of interest. The first one is the drivers behaviour facing evolving traffic conditions, these conditions being influenced by strategies to alter the modal choice in order to favour public transports, or by driver information systems and other technologies. The second aspect is the temporal evolution of the pollution level according to some factors such as weather conditions, congestion at peak hours or occurrence of traffic incidents.

It is clear that we need a tool with the capacity to estimate all these parameters. In particular, it is important to distinguish among the different types of vehicles. We have built pollution evaluation tools on detailed, dynamic and behavioural traffic models.

This paper is organised as follows. Section 4 outlines in short the main features of PACSIM, the traffic simulation model considered here, and the reasons why we have chosen this model in the framework of the combined model. Section 5 explains the emission and suremission models and the techniques used to integrate them within PACSIM. An example of application of the combined traffic/pollution is described in Section 6 and conclusions are presented in Section 7.

4. THE TRAFFIC MODEL

As mentioned above, the chosen model is PACSIM, a traffic simulation model designed by the Transportation Research Group in Namur. In this section, we do not examine this model in details but we outline its main features for the integration of pollution models (for more information about this model, see Cornélis and Toint (1998) or Cornélis (1997)).

4.1. Urban model

PACSIM is typically a model for the assignment of traffic in urban areas focussing on the movements of vehicles along the streets of an urban network and across its junctions. The junctions are critical in the urban context: that is the reason why a particular attention has been paid to the modelling of traffic light phases and synchronisation, priority rules and allowed movements. Another important element for a realistic simulation is that the vehicle speed along streets depends on traffic density. Furthermore, if the traffic density increases, the junctions and streets capacities may be exceeded in which case queues of vehicles build up with the effect that a queue at a junction or in a street might block another neighbouring one.

4.2. Dynamic model

PACSIM is an event-driven model which means that the passing of time is viewed as a succession of a number of events. The events are of two natures: some are associated with physical events happening in the network itself and the others are associated to the transfer of traffic information by radio broadcasting systems (RDS), variable message signs (VMS),... The model simulates a period of time specified by the user and this period may be divided into several time slices at the end of which some results such as flow, load and pollution levels are provided for each network link. This dynamic character also allows to observe the temporal evolution of pollution levels during the simulation time.

4.3. Behavioural sensitivity

Two aspects of drivers' behaviour have a direct impact on pollution levels : the mode choice and the route decisions. We shortly describe the behavioural mechanism in the case of mode choice.

We first examine the possibility to use public transport to go from origin to destination. If this possibility exists, we evaluate its cost. Then, we determine the route (in private vehicle) in the perceived network of the user.

In general, the user does not know the network in details. The network as perceived by the driver is defined according to the following steps:

1. A perceived network is built containing a detailed view of the links and nodes in the surrounding of anchor points which represent parts of network that are well known by the user (typically, origin and destination zones). The level of detail fades away with distance. The knowledge of the driver is then limited to the strategic or main roads of the network.
2. Behavioural rules modify this restricted network according to the trip characteristics and the information accumulated in past events. For instance, a truck driver is assumed to ignore the small streets of the network.

Once the driver's knowledge of the network is established, further behavioural rules are applied to determine the route. The cost of this trip is then compared with the public transport cost and other behavioural rules are applied to determine the mode.

4.4. Traffic information systems

As one of the main goals of drivers information or management systems is to reduce congestion, one may therefore anticipate that these techniques also impact on the level of pollution, both locally and at the scale of the city. PACSIM provides support and modelling of advanced information systems which allows the quantitative evaluation of these pollution levels, and the distinction, within this evaluation, of the specific effects corresponding to different types of information systems. The evolution of pollution levels over time may depend on the particular technology used to transfer traffic information to drivers, as it has consequences on the timing and location of possible re-routing decisions, and thus on global length of trips. For instance, it may be of interest to distinguish the results of using variable message signs or radio broadcasting systems for incident warning.

4.5. Multimodality

A solution to the traffic congestion observed in urban area can not be found only in changes in the infrastructure. Alternatives to the car must be found if a certain level of mobility is to be maintained. This question is of primary interest in policies for sustainable mobility, in which pollution also plays an important role. It is thus useful to combine, in a single tool, the analysis of modal shift and of its result in terms of exhaust gas pollution.

5. POLLUTANT EMISSION MODELS

We base our estimations of atmospheric pollution by exhaust gasses on two main sources, the CORINAIR-COPERT models (Samaras *et al*, 1997) and the analysis of Joumard and co-workers (Joumard *et al*, 1995, Joumard *et al*, 1998). Taken together, these emission models consider the combined effect of the following parameters.

The first parameter is obviously the pollutants themselves. We include formulae for carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), nitrous oxide (N₂O), carbon dioxide (CO₂), sulphur dioxide (SO₂), heavy metals and non-methane volatile organic components (NMVOC). This list is not exhaustive, but covers most of the main pollutants and is of interest in the framework of global warming forecasts, see Nicolas (1997).

Vehicles are separated in a number of categories. We have focussed on those that are present in Belgium, namely ECE 15/00-01, ECE 15/02, ECE 15/03, ECE 15/04, 91/441/EEC for gasoline vehicles, to which we added classes for diesel and LPG vehicles. We refer the reader to Samaras *et al*. (1997) for a detailed description of these categories.

Cubic capacity of engines is also important. In the above categories we have to distinguish cases where the cubic capacity is below 1.4 litres, between 1.4 and 2 litres or superior to 2 litres, as far as gasoline vehicles are concerned, or below or above 2 litres for diesel engines.

In all cases, we still need to distinguish between hot and cold engines, as their emission patterns are different (cold engines pollute more). We made the assumption that the engine of a vehicle starting a trip within the simulation network is assumed to be cold, while it is assumed to be hot if the origin of its trip is outside the city network. Furthermore, the engine warms up if it started cold, and is considered to be hot after a certain time or distance travelled. These times and distances depend on the pollutant and vehicle class. See Joumard *et al*. (1998) for further detail.

The emission formulae are used in PACSIM in the following way. For each event of the simulation corresponding to a vehicle movement, the characteristics of the vehicle (time and distance travelled, temperature of the engine, type, ...) are looked up and accumulated in a counter associated with the link on which the vehicle moves. When the total travelled distance is more than 1.5 km or when the

vehicle arrives at destination, the pollutant emissions are calculated (cold and hot emissions) and shared proportionally by the time spent by the vehicle on each link. These counters are output at specified times of the simulation (time slices) and reset to zero. In this way, the total of pollutant emission is available for each time slice, each pollutant and each link.

The COPERT emission formulae refers to an average speed during a long time period and distance. After different tries (1.5, 3 and 5 km), not significantly different, and in relationship with urban condition, we decided to choose 1.5 km as integration distance for emission calculation.

Further aggregation by zones or at the city level is obviously possible from these disaggregated data. Observe that this procedure requires the maintenance, within PACSIM, of the complete set of vehicles parameters, which is in general not available from standard traffic simulation packages.

Once the pollution levels have been computed, it is also possible to visualise their relative value on a map of the city within a GIS.

6. A CASE STUDY: SLOW TRAFFIC ENFORCEMENT IN NEIGHBOURHOOD AREAS

Different scenarios can be improved with the combined model : variation of modal split, management of works and accident, speed policies variation, ambient temperature (winter-summer), ...

We now consider an application of the pollution evaluation tool described above to the case of a strategy to enforce slow speed for vehicles in specific city areas. The city in question is Namur, and the areas selected for slow traffic enforcement cover the inner city centre, except for the most important traffic links. The network features around 300 nodes and 800 links. The simulation period covers the morning peak hour (from 7:30 to 9:00) during which an overall traffic of approximately 25.000 vehicles is simulated. The traffic demand corresponds to an ordinary week day. The ambient temperature was chosen constant for the complete simulation period and equal to 9.9 degrees (mean annual temperature in Belgium).

In order to measure the impact of the chosen policy, we simulate two scenarios, the first one (Sc. 1) corresponding to a situation where the speed enforcement measures are not applied and the second one (Sc. 2) where the speed reduction is enforced (30 km h^{-1} , corresponding to a speed limit which is half of the actual speed limit).

A first observation is that the total CO_2 pollution levels at the scale of the city does not significantly vary between scenario 1 and 2 (+ 6%). However significant differences appear when considering links in particular.

We illustrate the results of these simulations by considering first a street ("rue de Bruxelles", Table 1) compound by several links within the zone where speed reduction is enforced (in Sc. 2), and another street ("rue Bord de l'eau", Table 2) with two links on the periphery of the city centre. The CO_2 pollution levels (in kg) and the flow computed for these streets during the considered period are given for information in the following tables, only the percentage variation (Diff.) is indicative. The flow represents the number of vehicles crossing the link during the period.

RUE DE BRUXELLES, CENTRE TOWN, NAMUR, BELGIUM (7:30 - 9:00)															
	Sc. 1	Sc. 2	Diff.	Sc. 1	Sc. 2	Diff.	Sc. 1	Sc. 2	Diff.	Sc. 1	Sc. 2	Diff.	Sc. 1	Sc. 2	Diff.
Links 1 way	1216120221 →			2022120220 →			2022012162 →			1216212153 →			(One way link)		
FLOW	599	869	145%	599	869	145%	162	193	119%	40	36	90%			
CO ₂ (kg)	11.9	24.6	206%	9.3	21.5	230%	3.6	5.8	159%	1.1	1.1	100%			
Links 1 way	← 2022112161			← 2022020221			← 1216220220			← 1215312162			← 2020012153		
FLOW	321	32	10%	323	32	10%	641	160	25%	906	163	18%	1 049	231	22%
CO ₂ (kg)	5.8	0.9	15%	6.9	1.0	14%	11.0	3.6	33%	21.5	5.2	24%	21.5	6.2	29%
2 ways	← →			← →			← →			← →			← →		
FLOW	920	901	98%	922	901	98%	803	353	44%	946	199	21%	1 049	231	22%
CO ₂ (kg)	17.7	25.4	144%	16.2	22.4	138%	14.7	9.4	64%	22.5	6.2	28%	21.5	6.2	29%

Table 1 : Evolution of Flow and CO₂ pollution levels, centre street
Sc. 1 normal speed enforcement, Sc. 2 Speed limit (30 km h⁻¹) in centre town

On centre street, the pollutant emissions decrease but there are differences between links according to the way we choose. This situation can be explained by the fact that, due to the speed reduction enforcement, the average speed of the vehicles decreases and, as a consequence, the pollution increases (according to the formulae used for the considered pollutant, see Figure 27). It must also be noticed that the traffic flows remain high in the scenario 2, particularly in the way going to the centre town, because this link is an important penetration axis. In the other way, the reduction of traffic is related to the displacement of local people, there is no more transit traffic, people avoiding to cross the centre.

The results are that we observe a reduction of the flow for all links of the street and that CO₂ emission decreases of 25%.

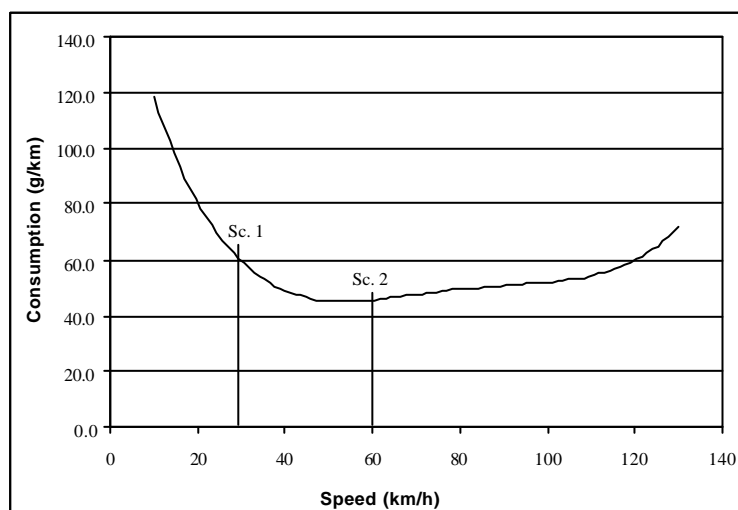


Figure 27 - Evolution of the consumption of gasoline with the speed.
Vehicles ECE 15/04 (53% of the park in Namur)

RUE BORD DE L'EAU, PERIPHERY, NAMUR, BELGIUM (7:30 - 9:00)

	Sc. 1	Sc. 2	Diff.	Sc. 1	Sc. 2	Diff.
Link 1 way	1215720232 →			2023212156 →		
FLOW	592	1 024	173%	591	1 022	173%
CO ₂ (kg)	14.4	26.6	185%	48.0	177.1	369%
Link 1 way	2023212157 ←			1215620232 ←		
FLOW	933	920	99%	938	940	100%
CO ₂ (kg)	24.7	22.5	91%	78706	72.4	92%
2 ways	↔			↔		
FLOW	1 525	1 944	127%	1 529	1 962	128%
CO ₂ (kg)	39.1	49.1	126%	126.7	249.5	197%

Table 2 : Evolution of Flow and CO₂ pollution levels, peripheral street
Sc. 1 normal speed enforcement, Sc. 2 Speed limit (30 km h⁻¹) in centre town

People avoiding to cross the town centre, they prefer to use the peripheral streets. The situation on the chosen peripheral street leads to an increase of the traffic and to a congestion situation, corresponding to an increasing of the global emission. We can look at every link of the network to analyse what happened but a more easy way to observe the variation of traffic and emission during time, or between simulations, is to report the results on a map with graduated level.

7. CONCLUSION

We have shown how to combine a dynamic event-driven traffic model with a pollutant emission model to estimate pollution levels resulting from different scenarios into an integrated tool for decision support.

Our example suggests that the effects of traffic management policies may be rather complex and shows that the combined model is able to evaluate the consequences of traffic management policies on pollution. We considered an example concerning speed reduction enforcement and envisaged others such as the impact of a modal shift to public transports or the use of different driver information systems.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the Belgian Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs (Prime Minister's Services) which provided support for this research in the framework of the Belgian "Transport and Mobility" impulse program and the subsequent "Sustainable mobility" program.

REFERENCES

- Cornélis E., (1997) PACSIM user's manual.
- Cornélis E. and Toint Ph., (1998) An introduction to PACSIM: a new dynamic behavioural model for traffic assignment. Operations Research in Traffic and Transportation Management, proceedings of the NATO ASI, Springer-Verlag.
- Joumard R., Paturel L., Vidon R., Guitton J.P., Saber A.I., Combet E. (1990), Émissions unitaires de polluants des véhicules légers, Rapport INRETS 116.
- Joumard R., Sérié E. (1998), Modeling of cold start emissions for road vehicles, Workshop day on pollution caused by road traffic, IW-GRT, Namur.
- Nicolas J. P. (1997), Mobilité, congestion, technologie: les paramètres du trafic routier affectant le niveau de pollution atmosphérique en milieu urbain, in ATEC, Mobilité dans un environnement durable, 71-84, Presses de l'ENPC, Paris.
- Ntziachristos L., Samaras Z., (1997) Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport (COPERT II) Document EEA/???/97
- Toint Ph., (1994) Introduction à PACSIM: un nouveau modèle dynamique comportemental pour la simulation du trafic, Les Cahiers du MET 3, 27-38.

ANNEXE 4 :
Liste des quartiers et des rues du modèle

Quartier	Noms des rues	Longueur (m)
Non déterminé	72 arcs	18 774
	AVENUE DU VAL SAINT-GEORGES	1 001
	AVENUE GOUVERNEUR BOVESSE	94
	BOULEVARD DHERBATTE	2 882
	BOULEVARD DU NORD	207
	CHAUSSEE DE CHARLEROI	268
	CHAUSSEE DE LIEGE	1 993
	CHAUSSEE DE LOUVAIN	89
	PLACE ANDRE RYCKMANS	136
	ROUTE DE HANNUT	3 189
	RUE DE LEPANTE	1 918
	RUE DU GRAND FEU	1 805
	RUE DU PONT DE LOUVAIN	143
	RUE FONTAINE DES PRES	361
	RUE HEBAR	1 976
	RUE HENRI BLES	207
	RUE JULES BOURS	440
	RUE MUZET	332
	RUE PATENIER	649
	RUE PIRET PAUCHET	476
	RUE RAYMOND MUSEU	272
	RUE SAINT-FIACRE	336
Autoroute	57 arcs	55 858
	E411 - E42	55 453
	CHAUSSEE DE LOUVAIN	130
	ROUTE NATIONALE N4	11
	RUE BOSSIME	92
	RUE DE LA GUILITTE	84
	TRIEUX DES MINES	88
Beez	4 arcs	425
	AVENUE REINE ELISABETH	343
	RUE DES BARDES DE LE MEUSE	82
Belgrade	48 arcs	16 196
	AVENUE JEAN DELHAYE	1 089
	AVENUE JEAN POCHET	334
	AVENUE JOSEPH ABRAS	906
	AVENUE MARCEL GOURDIN	1 981
	RUE AIME ARNOULD	982
	RUE ANTOINE NELIS	1 809
	RUE DE LA BASSE SAMBRE	790
	RUE DES FORSYTHIAS	466
	RUE DU SAULE	955
	RUE FELICIEN DENEUMOUSTIER	1 720
	RUE GRETRY	750
	RUE JOSEPH DURIEUX	1 973
	RUE JOSEPH VINCENT	1 079
	RUE VICTOR GENOT	688
	SQUARE DU SOUVENIR	674
Bomel	4 arcs	261
	BRETELLE N 80	251
	CHAUSSEE DE LOUVAIN	10
Boninne	2 arcs	2 242
	ROUTE DHANNUT	2 242

Bouge	22 arcs	13 158
	CHAUSSEE DE LOUVAIN	3 897
	CHEMIN DES AIDES	724
	ROUTE DE HANNUT	3 862
	RUE DE LA POTERESSE	1 059
	RUE DU GRAND FEU	229
	RUE DU PONT DE LOUVAIN	143
	RUE GEORGES ATTOUT	1 000
	RUE HEBAR	867
	RUE SAINT-LUC	1 379
Ceinture	103 arcs	6 775
	Non déterminé	437
	AVENUE BARON LOUIS HUART	360
	AVENUE CARDINAL MERCIER	488
	AVENUE COMTE DE SMET DE NAYER	445
	AVENUE DE LA GARE	
	AVENUE DE SMET DE NAYER	
	AVENUE DE STASSART	279
	AVENUE REINE ASTRID	1 257
	BOULEVARD CAUCHY	729
	BOULEVARD ERNEST MELOT	337
	BOULEVARD ISABELLE BRUNELL	352
	PLACE DE LA STATION	203
	PLACE GUSTAVE FALMAGNE	32
	PLACE LEOPOLD	193
	PLACE SAINT-HILAIRE	79
	PLACE WIERTZ	461
	RUE BORD DE L'EAU	215
	RUE BORGNET	
	RUE DES 4 FILS AYMON	
	RUE DES MOULINS	508
SQUARE ARTHUR MASSON	176	
SQUARE LEOPOLD	223	
Champion	24 arcs	10 654
	CHAUSSEE DE LOUVAIN	4 254
	PLACE DU COUVENT	166
	RUE ALEXANDRE COLIN	662
	RUE DE FERNELMONT	3 086
	RUE HEBAR	33
	RUE LEON LEFEVRE	1 932
RUE NOTRE-DAME DES CHAMPS	521	
Citadelle	47 arcs	15 587
	AVENUE BARON LOUIS HUART	707
	AVENUE BEL AIR	629
	AVENUE DE LA PLANTE	1 383
	AVENUE DE MARLAGNE	2 619
	AVENUE DU MILIEU DU MONDE	1 100
	AVENUE MARIE DARTOIS	912
	CITE PROVIS	46
	PLACE LOUISE GODIN	106
	ROUTE MERVEILLEUSE	4 607
	RUE DES NOYERS	476
	RUE DU BELVEDERE	700
	RUE DU GROGNON	119
	RUE HENRI LECOCQ	405
	RUE LOUIS LOISEAU	214
RUE MARTINE BOURTONBOURT	400	
RUE SAINT-MARTIN	1 083	
SENTIER JEAN LEMAIRE DES BELGES	81	

Quartier	Noms des rues	Longueur (m)
Corbeille	168 arcs	14 602
	AVENUE FERNAND GOLENVAUX	261
	BOULEVARD FRERE ORBAN	1 416
	PLACE D'ARMES	187
	PLACE DU PALAIS DE JUSTICE	618
	PLACE LILON	102
	PLACE REINE ELISABETH	371
	PLACE SAINT-AUBAIN	139
	PONT DE LEVECHE	155
	REMPART DE LA VIERGE	645
	RUE BASSE NEUVILLE	57
	RUE BLONDEAU	203
	RUE BRUNO	223
	RUE COURTENAY	99
	RUE D'HARSCAMP	
	RUE DE BAVIERE	96
	RUE DE BRUXELLES	751
	RUE DE FER	83
	RUE DE GRAVIERE	85
	RUE DE LA TOUR	94
	RUE DE LANGE	260
	RUE DE L'ARSENAL	304
	RUE DE LETOILE	170
	RUE DE LEVECHE	322
	RUE DE MARCHOVELETTE	
	RUE DELVAUX	94
	RUE DES BOURGEOIS	570
	RUE DES BRASSEURS	61
	RUE DES CARMES	
	RUE DES CROISIERS	418
	RUE DES DAMES BLANCHES	357
	RUE DES FOSSES FLEURIS	106
	RUE DES TANNERIES	35
	RUE DEWEZ	262
	RUE D'HARSCAMP	121
	RUE DU BAILLY	
	RUE DU LOMBARD	330
	RUE DU LUXEMBOURG	147
	RUE DU PONT	318
	RUE DU PREMIER LANCIER	290
	RUE DU SEMINAIRE	343
	RUE EMILE CUVELIER	107
	RUE GALLIOT	290
	RUE GENERAL MICHEL	104
	RUE GODEFROID	211
	RUE GRANDGAGNAGE	88
	RUE J. GRAFE	238
	RUE J.B. BRABANT	410
	RUE JOSEPH SAINTRAINT	296
	RUE JULIE BILLIART	287
	RUE LELIEVRE	327
	RUE LUCIEN NAMECHE	481
	RUE PEPIN	604
	RUE PONTY	170
	RUE ROGIER	322
	RUE SAINT-JACQUES	103
	RUE SAINT-NICOLAS	471

Quartier	Noms des rues	Longueur (m)
Cognelée	16 arcs	14 784
	CHAUSSEE DE LOUVAIN	5 930
	CHAUSSEE DE NAMUR	13
	DREVE DE JETTE FOOLZ	1 517
	ROUTE DE WASSEIGES	6 162
	RUE BASSE CHAUSSEE	1 163
Daussoulx	6 arcs	4 813
	RUE DE VEDRIN	1 559
	RUE DU BAS DAUSSOULX	1 171
	TRIEUX DES MINES	2 083
Dave	10 arcs	9 449
	RUE DE LONGEAU	547
	RUE DE LUSTIN	4 215
	RUE DE TAILFER	1 340
	RUE DES VIAUX	134
	RUE SAINT-HUBERT	3 212
Erpent	20 arcs	15 962
	AVENUE DES ACACIAS	1 807
	CHAUSSEE DE LIEGE	4 337
	CHAUSSEE DE MARCHE	3 087
	RUE DES AUBEPINES	1 548
	RUE DU GRAND TIGE	1 545
	RUE DU VIEUX BON DIEU	757
	RUE ERPENT VAL	2 880
Flawinne	22 arcs	13 421
	RUE DU DEVERSOIR	1 182
	RUE FERNAND COCHARD	1 297
	RUE JACQUES DUBOIS	226
	RUE JOSEPH ARNOULD	280
	RUE JOSEPH DANDOY	1 221
	RUE LEUCHERE	2 957
	RUE MARCEL VANDY	455
	RUE OSCAR GENOT	1 439
	RUE SAINTE-GERTRUDE	406
	RUE SOUS LA VILLE	3 958
	Floreffe	4 arcs
AVENUE CHARLES DE GAULLE		803
RUE RIVERRE		1 914
Floriffoux	6 arcs	2 461
		847
	RUE DE SUARLEE	874
	RUE OSCAR GUBIN	740
Gelbressée	6 arcs	2 790
	ROUTE DHANNUT	1 160
	RUE ERNEST MOENS	1 629
Herbatte	5 arcs	376
	RUE DU PONT DE LOUVAIN	376

Quartier	Noms des rues	Longueur (m)
Jambes	87 arcs	41 680
	AVENUE DE LA DAME	1 044
	AVENUE DE LUXEMBOURG	2 936
	AVENUE DES CHAMPS ELYSEES	27
	AVENUE DU BOURGMESTRE JEAN MATERNE	1 164
	AVENUE DU CAMP	1 672
	AVENUE DU PETIT SART	6 486
	AVENUE GOUVERNEUR BOVESSE	935
	AVENUE PRINCE DE LIEGE	1 724
	CHAUSSEE DE LIEGE	2 947
	CHEMIN DU PONT DE BRIQUES	1 576
	IMPASSE DE LAMIGO	60
	MONTAGNE SAINTE-BARBE	1 111
	PARC ASTRID	630
	PLACE JOSEPHINE-CHARLOTTE	188
	RUE DE COPPIN	1 746
	RUE DE DAVE	4 920
	RUE DE GERONSART	3 245
	RUE DE LA POUDRIERE	1 429
	RUE DE LAURORE	1 414
	RUE DES VERRERIES	1 075
	RUE DU PASSAGE DEAU	195
	RUE DU PONT DES ARDENNES	744
RUE DU SART HULET	1 814	
RUE MAJOR MASCAUX	1 956	
RUE MAZY	641	
La Plante	9 arcs	4 277
	CHAUSSEE DE DINANT	3 881
	RUE J. HAMOIR	396
Malonne	23 arcs	33 418
	AVENUE DE LA VECQUEE	6 825
	AVENUE DE MARLAGNE	534
	CHAUSSEE DE CHARLEROI	16 019
	FOND DE MALONNE	2 227
	ROUTE DE LA NAVINNE	5 346
	RUE DE LA CROIX	991
	RUE DE MAULENNE	290
	RUE DU VIVIER	720
	RUE LAMBERT-JOS. LAMBILLION	466
Marche-les-Dames	2 arcs	5 248
	RUE NOTRE-DAME DU VIVIER	5 248
Naninne	8 arcs	7 737
	CHAUSSEE DE MARCHE	6 222
	RUE DES VIAUX	1 515
Prison	1 arc	19
	PLACE DHASTEDON	19
Rhisnes	10 arcs	6 450
	NOUVELLE ROUTE DE SUARLEE	2 144
	ROUTE NATIONALE N4	1 513
	RUE DE GEMBLOUX	2 794
Saint-Marc	12 arcs	10 236
	CHAUSSEE DE PERWEZ	6 084
	RUE DU CENTRE	3 997
	RUE DU VIEUX CHENE	156

Saint-Nicolas	8 arcs	1 801
	AVENUE ALBERT I	399
	AVENUE DES CHAMPS ELYSEES	277
	ROUTE DE HANNUT	725
	RUE DE BALART	400
Saint-Servais	26 arcs	17 455
	CHAUSSÉE DE PERWEZ	482
	RUE DE BRICGNIOT	3 685
	RUE DE GEMBLOUX	9 026
	RUE DE LA CHEMINÉE	831
	RUE DU BEAU VALLON	1 873
	RUE JEAN CHALON	277
	RUE LEOPOLD DE HULSTER	812
	RUE LOUIS HICGUET	468
Salzennes	17 arcs	4 225
	AVENUE ANTOINE WOITRIN	665
	AVENUE SERGENT VRITHOFF	1 035
	CHAUSSÉE DE CHARLEROI	1 299
	PLACE DU HUIT MAI	100
	RUE BALTHASAR FLORENCE	301
	RUE HENRI BLES	824
Salzennes-les-Moulins	12 arcs	3 674
	PLACE DHASTEDON	19
	PLACE DOMALIUS	42
	RUE DE LA DODANE	353
	RUE DE L'ARMÉE GROUCHY	555
	RUE FELIX WODON	199
RUE SALZINNES LES MOULINS	2 505	
St Servais	16 arcs	3 925
	AVENUE DES COMBATTANTS	334
	CHAUSSÉE DE WATERLOO	3 308
	PLACE ABBE JOSEPH ANDRE	284
Suarlée	22 arcs	13 345
		4 790
	CHAUSSÉE DE NIVELLES	6 835
	RUE DE LA SAPINETTE	1 467
RUE DU CHATEAU DE SUARLEE	253	
Vedrin	18 arcs	9 661
	RUE ELIE PUISSANT	574
	RUE FLORIMOND BIDRON	1 261
	RUE FRERES BIEVA	3 324
	RUE GUSTAVE GUIDET	556
	RUE JEAN GEUVENS	916
	RUE JOSEPH WANET	961
	RUE PIERRE HOUBOTTE	347
	RUE RAYMOND GUSTIN	604
RUE RENE COPETTE	1 119	
Wépion	19 arcs	18 353
		730
	CHAUSSÉE DE DINANT	1 642
	PROMENADE DE MEUSE	6 890
	ROUTE DES FORTS	3 523
	RUE DE LA SOEUR JEANNE	145
	RUE LAMBERT-JOS. LAMBILLION	466
	RUE MARCEL LECOMTE	4 499
VIEUX TIENNE	459	

Wierde	10 arcs	7 524
	CHAUSSEE DE MARCHE	3 859
	RUE DE JAUSSE	1 912
	RUE GRANDE	1 753

NAMUR	946 arcs	410 337
--------------	-----------------	----------------