



**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**

Résumé

septembre 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

1. Les finalités

1.1. L'enjeu

L'enjeu du projet est de réduire les émissions atmosphériques de polluants du transport routier.

Le transport routier est un important émetteur de polluants atmosphériques (près de $\frac{3}{4}$ des émissions de CO, plus de 50 % des émissions de NOx et près de 20 % des émissions de CO2 en Région Wallonne¹). Ces émissions sont liées principalement à la consommation de carburant du secteur. L'enjeu de réduction des émissions est dès lors sous-tendu par un enjeu de réduction de la consommation d'énergie du secteur.

Or cette consommation d'énergie ne fait que croître. De 1990 à 1997, la consommation d'énergie du secteur du transport en Wallonie progressait de 13 % alors que la consommation d'énergie totale de la région n'augmentait « que » de 3 %².

Cette progression importante de la consommation d'énergie et des émissions qui y sont liées aggrave d'autant les conséquences négatives du transport routier (effet de serre, santé publique, dégradation des espaces publics, coûts pour la collectivité, etc.). En terme de santé, une étude récente estime que 6 % des décès dans les pays analysés (France, Suisse et Autriche) sont imputables à la pollution de l'air et, pour la moitié d'entre eux, directement à la pollution due au transport routier³.

De plus, la Belgique s'est engagée dans le cadre de la Conférence de Kyoto à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le transport routier y contribue largement. Des actions sont donc à mener dans ce secteur.

Face à ces constats, les équipes de recherche (Institut Wallon et GRT) ont décidé de mener un projet ayant cet enjeu de réduction des émissions atmosphériques du transport routier.

1.2. Le but

Le but du projet est de mieux évaluer et localiser les quantités de polluants émis par le transport routier en le mettant en adéquation avec un modèle de simulation de trafic.

Pour s'attaquer au problème des émissions atmosphériques, il faut d'abord pouvoir les estimer et les localiser avec une certaine précision. La localisation des émissions n'a pas de sens réel en ce qui concerne les gaz à effet de serre, mais pour les pollutions locales, elle a toute sa pertinence.

La combinaison de la modélisation du trafic et des émissions offre cette double possibilité d'estimation et de localisation.

Les équipes de recherche ont donc décidé de s'inscrire dans cette voie assez originale vu qu'aujourd'hui les deux modélisations sont régulièrement réalisées de façon séparée.

1.3. L'objectif

L'objectif du projet est de développer sur une zone test un modèle combiné de simulation de trafic et d'émissions atmosphériques.

Le volet d'approche fondamentale du projet était particulièrement attrayant. Toutefois, il était nécessaire et utile de valider l'approche par une application concrète sur une zone-test.

Le développement du modèle combiné et l'application à la ville de Namur constituait l'objectif des trois années de projet.

La validation n'avait selon nous pas seulement une valeur scientifique dans le cadre du projet de recherche lui-même mais elle a aussi permis de confronter une recherche fondamentale aux vérités du terrain et ainsi, d'ouvrir le projet à la « société civile ».

¹ Institut Wallon, 1997

² Institut Wallon, 1997

³ Etude publiée dans la revue « The Lancet » et citée par le journal « Le Soir » du 1 septembre 2000.

2. Les activités et les résultats

2.1. Les activités

2.1.1. Les activités engagées

Pour répondre à l'objectif du projet, diverses étapes ont été nécessaires. Avant tout, la recherche et l'adaptation des modèles de simulation du trafic et d'émissions atmosphériques a constitué la base principale du travail. La mise en adéquation des modèles et la recherche des sources de données pertinentes pour affiner et calibrer les modèles se sont effectuées tout au long du projet.

Une confrontation des hypothèses et des résultats a été faite au sein d'un user's group constitué d'experts du domaine ainsi que lors de la participation à un colloque international sur le sujet. Enfin le choix des simulations à étudier et l'analyse comparative des résultats nous a conduit à revoir et affiner le modèle combiné.

Cette analyse des résultats n'a été possible que par la création d'un programme à même de comparer et synthétiser les données afin de les rendre plus lisibles. Toujours dans cette recherche de lisibilité et d'interprétabilité, un transfert des résultats a été effectué vers un système de cartographie à même de mettre une « image » derrière nos résultats chiffrés..

2.1.2. Les méthodes mises en œuvre

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 (Namur) 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,...).

2.1.3. Les matériaux et les sources d'informations utilisées

2.1.3.1. Liées aux aspects « émissions atmosphériques »

Le **choix des polluants** à recenser et des types d'émissions à considérer a été dicté par les inventaires nationaux et internationaux en matière d'émissions des transports routiers. 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 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.

En terme d'inventaire des modèles et études portant sur les émissions atmosphériques des transports routiers, l'Institut Wallon a porté son choix parmi les modèles à sa disposition, **sur la méthode CORINAIR/COPERT⁴** 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.

- Enfin les paramètres nécessaires au calcul des émissions (température, vitesse moyenne) sont disponibles relativement aisément.

Le modèle précité calcule ce qu'il est convenu d'appeler les émissions à chaud, c'est-à-dire lorsque le moteur a atteint sa température de fonctionnement.

Cependant une partie, non négligeable sur de petits trajets, des émissions à lieu lorsque le moteur est encore « froid ». Les formules utilisées pour le **calcul des surémissions à froid**, c'est-à-dire lors du départ du véhicule le moteur froid, sont reprises de M. JOURMARD de l'INRETS⁵, les formules de COPERT ne convenant pas à un modèle de simulation dynamique.

2.1.3.2. Liées aux aspects « modélisation du trafic »

Le modèle utilisé pour les différentes simulations est PACSIM, un modèle dynamique de simulation de trafic. Développé par le GRT, partiellement dans le cadre du programme DRIVE1 de la CEE et partiellement dans le cadre du programme d'impulsion « transport et mobilité » des SSTC, ce modèle simule la circulation dans un milieu urbain. Dans ce sens une attention toute particulière est apportée à la modélisation des carrefours.

De par sa nature dynamique, PACSIM permet d'étudier l'évolution temporelle des flots de circulation sur différents axes (ou routes) modélisés. Nous pouvons, par exemple, analyser la congestion de certains axes aux heures de pointes. Ce caractère dynamique est rendu possible par une simulation « events driven ». Cela signifie que l'écoulement du temps se fait au travers d'événements (accidents, mouvements de véhicules, ...) engendrant une action ou série d'actions. Le modèle traitera ces actions et simulera l'évolution de la circulation suite aux effets de ces événements.

PACSIM comprend également une composante comportementale qui permet de simuler comment les usagers décident de leur mode de transport ou de la route qu'ils vont suivre ou bien encore comment ils réagissent aux informations qui leur sont communiquées. Il est à noter, à ce propos, que PACSIM ne fait pas appel à l'hypothèse suivant laquelle chaque usager a une connaissance parfaite du réseau. Au contraire, ici, est introduite la notion de réseau perçu suivant laquelle l'utilisateur a une connaissance plus ou moins sommaire du réseau selon les zones qu'il a l'habitude ou non de « fréquenter ».

Une part non négligeable de trajets fait aussi appel aux transports en commun. Pour ne pas négliger cela, PACSIM incorpore un aspect de multimodalité. Les bus sont, comme les voitures, modélisés et l'interdépendance entre les véhicules particuliers et les transports en commun est prise en compte.

⁴ Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport

⁵ Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité

Enfin, les systèmes d'informations font aussi partie du modèle. Ceci nous permet de mesurer les effets dus à la circulation de la transmission de renseignements (tels que l'annonce d'accidents ou de travaux) par des média aussi variés que les panneaux à message variable ou le radio-guidage.

Le lecteur souhaitant davantage d'informations est invité à lire les références [B 4], [B 5] et [B 6].

Pour alimenter ce modèle, une matrice origine - destination est nécessaire et 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].

2.1.4. Eléments remarquables, points de controverses, ... pour les choix effectués

2.1.4.1. Modèle d'émission

Plusieurs points de controverses existent par rapport au choix du modèle d'émission. Deux types de modèle abordent le calcul des émissions soit de manière instantanée, soit en utilisant la vitesse moyenne. Le modèle COPERT choisi est basé sur cette deuxième approche. Rien n'empêche dans le modèle combiné de simulation d'ajouter des formules de calcul d'émissions instantanées, pour autant que les données nécessaires à ce calcul soient accessibles et n'impliquent pas une complication exagérée du modèle (comportement du conducteur, situation de la rue, pentes, ...).

2.1.4.2. Couplage des modèles

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, les émissions se calculent sur base de la catégorie de véhicule (le type de carburant, la cylindrée et l'année de mise en circulation). Nous avons choisi de prendre la répartition du parc de voitures de la province de Namur, publié par l'INS [B 13].

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.

Dans la première partie de l'étude, nous appliquons 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 avec 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. 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, 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.

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.

2.2. Les résultats

2.2.1. 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'acquérir 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.

La matrice O/D que nous avons utilisé était 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 en **Error! Reference source not found.** et au moyen du logiciel ATES développé au GRT [B 3].

Nous effectuons la simulation dans la tranche horaire 7h30-9h00 (pointe du matin) avec un découpage en quart d'heure.

2.2.1.1. 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.

2.2.1.2. 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.

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.

2.2.1.3. Récupération et traitement des données

Le programme de récupération et de traitement des données de simulation a été développé sous Microsoft ACCESS[®]. Ce programme permet, pour une simulation, de visionner les émissions totales de chaque période de temps et leur évolution dans le temps. Par ailleurs le programme permet de comparer deux à deux ou trois à trois les diverses simulations effectuées et d'en ressortir ainsi les éléments importants pour l'analyse. La comparaison peut se faire à plusieurs niveaux, celui de l'arc de rue, de la rue, du quartier ou pour toute la ville. En outre il prépare les données pour un transfert vers le programme de cartographie qui permet ainsi de visualiser l'ensemble du réseau modélisé et d'observer les variations dans le temps et dans l'espace des émissions calculées.

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

2.2.1.4. 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.

2.2.2. Les résultats finaux

2.2.2.1. Simulations prospectives

Des 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.

2.2.2.2. Comparaison simulation témoin - été - hiver.

On y remarque l'importance de la température ambiante sur les émissions de polluants et ce particulièrement pour les polluants dont les émissions à froid ne sont pas négligeables. Pour les émissions de CO, on observe une diminution de 30% en été et une augmentation de 30% en hiver par rapport au témoin

2.2.2.3. Simulation de réduction de limite de vitesse

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.

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		Différence absolue.
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*I)	53 696	24 129	45%	-29 567

Tableau 1 : 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 engorgent 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 proportionnelles de 4 à 13%. Nous avons donc un simple déplacement des émissions, sans les réduire.

2.2.2.4. Simulation du plan de circulation

Le plan de circulation de Namur comporte des changements majeurs dans l'infrastructure routière. L'aménagement de carrefours en ronds-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.

	Témoin	Simul. plan Namur	
CO ₂ (kg)	50 335.8	53 976.2	107%
NOx (kg)	383.2	378.4	99%
CO (kg)	5 693.6	5 879.6	103%
FLOW (v*l)	568 545	732 851	129%

Tableau 2 : Evolution du CO₂ , NOx, CO et du FLOW entre CopIII-Tem et CopIII-Plan, Namur 7h30 - 9h15

Nous constatons bien dans le Tableau 2 l'augmentation du FLOW expliquée ci-dessus et nous observons une croissance légère, en général, des polluants à l'exception des NOx.

2.2.2.5. 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 3 : 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 4 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 3).

2.2.3. Comparaison entre réduction de vitesse et aménagement de voirie

2.2.3.1. Paramètres (CO₂, NO_x, CO)

	Témoin	30 km/h		Plan	
CO ₂ (kg)	50 335.8	53 575.4	106%	53 976.2	107%
NO _x (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 5 : Evolution du CO₂, CO, FLOW et du NO_x 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.

2.2.3.2. Analyse localisée (quartiers - rues)

	Témoin	30 km/h		Plan	
CO ₂ (kg)	1 319.8	968.0	73%	1 091.7	83%
NO _x (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 6 : Evolution du CO₂, CO, FLOW et du NO_x 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%
NO _x (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 7 : Evolution du CO₂, CO, FLOW et du NO_x 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.

2.2.4. Intérêt des résultats obtenus

L'intérêt majeur du projet est d'avoir atteint son objectif, à savoir de disposer d'un modèle qui permette de simuler les déplacements de véhicules en temps réel dans des conditions réelles et d'en retirer des informations sur les émissions résultantes.

Trop souvent les simulateurs se contentent de donner une réponse du point de vue de la fluidité du trafic ou de la quantité de mouvements mais aucune information n'était disponible concernant le résultat en matière d'émissions polluantes.

Comme on l'a vu, une solution qui peut paraître intéressante en terme de trafic peut engendrer des effets sur les émissions allant en sens opposé. Ainsi, sur simples modifications « informatiques » des conditions de circulation sur la zone modélisée, les décideurs pourront disposer d'un outil aidant à faire un choix tant du point de vue « trafic » que « émissions atmosphériques ».

3. Bilans et perspectives

3.1. Bilan du projet

3.1.1. 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 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.

3.1.2. 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.

3.1.3. 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.

4. 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).