

ARTEMIS : de nouveaux outils de calcul des émissions de polluants des transports routiers

Michel ANDRÉ¹, Mario KELLER² et Menouer BOUGHEDAOU³

¹ INRETS, Lab. Transports Environnement, Bron cedex (France)

² INFRAS, Mühlemattstrasse Berne (Suisse)

³ Université de Blida, Sc. de l'Ingénieur, Dépt Chimie Industrielle. Blida (Algérie)

Résumé

L'estimation précise des émissions de polluants du transport routier est nécessaire tant pour suivre les actions des États en matière de pollution de l'air, que pour les études d'impact de projets d'infrastructure et d'évaluation de politiques de transports, de réglementations ou de nouvelles technologies. Elle est également nécessaire à l'élaboration de données d'entrée pour les modèles physico-chimiques, de transport et de transformation des polluants. Des outils de calcul d'émissions sont donc développés dans un souci de mise en commun des données d'émissions (coûteuses et rares), de validité à différentes échelles spatio-temporelles et d'harmonisation des méthodes autorisant ainsi des comparaisons et évaluations objectives. Les outils d'inventaires récemment développés dans le cadre du projet européen ARTEMIS constituent certainement la référence européenne à ce jour.

On récapitule dans ce papier les grandes lignes du projet et les principaux résultats : bases de données d'émissions selon les catégories de véhicules (2-roues motorisés, voitures particulières, camions, bus, autocars). On décrit ensuite les différents principes de modélisation et en particulier l'approche à l'échelle de la rue qui repose sur la définition de situations de trafic (combinaison de type de voies et de condition de circulation).

Au-delà de leur qualité en terme de données d'émissions et modélisations, l'application des outils dépend d'abord de la disponibilité des données descriptives du trafic routier (trafics, composition détaillée des parcs automobiles, vitesses de circulation, etc.). On examine cet aspect du calcul d'émissions et illustre la mise en œuvre des outils à partir de cas réels : le calcul des émissions nationales Suédoises s'appuyant sur des statistiques de trafic très riches, et leur application pour l'Algérie dont les véhicules, trafics, etc. diffèrent fortement de ceux rencontrés en Europe.

Mots-clés : Pollution de l'air, transport, trafic, évaluation, inventaire, émissions

1. Introduction

Dans de nombreux contextes, une estimation précise des émissions de polluants des transports est nécessaire : suivi des engagements internationaux pour la pollution de l'air et les gaz à effet de serre, études d'impacts de projets d'infrastructures, de politiques de transport, de réglementations ou de technologies nouvelles, données d'entrée pour les modèles physico-chimiques, etc. La Commission Européenne a donc décidé de soutenir un grand projet de recherche - ARTEMIS, 40 partenaires, budget de 9 M€ sur 5 années -, pour développer / améliorer les méthodes européennes d'estimation et d'inventaire des émissions de polluants des différents modes de transport en Europe. Le lien avec l'action COST346 (Émissions des véhicules lourds) a permis d'accroître considérablement le partenariat et les travaux sur ces véhicules (50 participants de 17 pays).

2. Principaux résultats du projet Artemis

Parmi les principaux résultats du projet, on notera :

- l'élaboration de procédures représentatives de mesure des émissions de polluants (cycles de conduite ARTEMIS pour les véhicules particuliers, cf. André, 2004 -, cycles d'essai de moteur pour les poids lourds, etc.) et une analyse systématique des aspects méthodologiques et métrologiques qui peuvent conduire à une incertitude sur l'estimation des émissions (sélection et

échantillonnage des véhicules, conditions de test, carburant, etc.). Les procédures de test ont été appliquées dans le cadre du projet mais aussi lors de campagnes nationales de mesure d'émissions, ce qui a permis d'élargir considérablement les bases de données. Ces travaux expérimentaux et méthodologiques ont permis également des progrès significatifs et des recommandations concernant les procédures de mesures d'émissions.

- un grand nombre de véhicules lourds, de 2-roues motorisés et de véhicules récents ont été testés avec un accent particulier sur les polluants non réglementés - insuffisamment étudiés jusque-là -, le démarrage à froid, les émissions par évaporation et la contribution des auxiliaires et de la climatisation,
- le développement d'approches cohérentes de calcul des émissions à différentes échelles (du régional à la rue) et leur intégration dans des outils modulaires qui permettent l'estimation des parcs et de leurs émissions et constituent une puissante plate-forme de calculs d'émissions pour différents cas d'application,
- le recueil de statistiques nationales et européennes sur les caractéristiques de trafic (parcs, conditions de conduite, etc.) et l'élaboration d'hypothèses réalistes,
- des expérimentations lourdes dans 3 tunnels Européens pour valider les travaux par comparaison des simulations et des concentrations réellement mesurées.

Les modes non routiers (aérien, ferroviaire, maritime) ont été également l'objet de campagnes conséquentes de mesures et du développement d'outils spécifiques de calcul de leurs émissions.

Ce sont donc des outils totalement renouvelés et améliorés qui résultent du projet ARTEMIS, ainsi qu'un état de l'art unique sur le sujet en Europe et un nombre considérable de résultats scientifiques et de rapports techniques dont on trouvera la synthèse en (Boulter et al., 2007).

3. Principes de calcul des émissions

3.1. Données d'émission et modélisation

Un grand nombre de véhicules et de moteurs récents ont été testés dans le cadre du projet et analysés en complément de l'essentiel des données déjà existantes et de celles mesurées lors de campagnes nationales de mesures. En tout, 102 cartographies et 27 tests en transitoires ont été réalisés sur des moteurs de poids lourds des réglementations Euro0 à 3. Ceci a permis l'élaboration de cartographies par catégories jusqu'à Euro5, et le modèle PHEM (Rexeis et al., 2005) a été construit pour simuler de manière détaillée le fonctionnement de tous les types de camions, bus et autocars, ainsi que les émissions et la consommation résultantes, sous différentes conditions de trafic, de pente de la route et de chargement du véhicule. Ce modèle tient compte des fonctionnements en transitoires, des propriétés du carburant et du démarrage à froid.

De la même manière, 115 2-roues motorisés ont été testés sur des cycles de conduite représentatifs. Les données d'émissions ont permis la construction de fonctions d'émissions (selon la vitesse moyenne) pour les cyclomoteurs et motos des différentes cylindrées et motorisations. Ces fonctions ont été également appliquées pour la simulation des émissions sur les situations de trafic (cf. section suivante). Enfin, des tests d'émission ont été également conduits sur les petits véhicules utilitaires, utilisant des cycles de conduite spécifiques. On a ainsi construit des fonctions d'émissions selon la vitesse moyenne et la charge du véhicule.

En ce qui concerne les véhicules particuliers, les expérimentations ont principalement porté sur les polluants non réglementés - insuffisamment connus jusque là -, sur le démarrage à froid, et sur l'analyse détaillée de l'émission selon les conditions de circulation (driving patterns, André et al. 2006b). Dans ce but, 130 véhicules ont été testés lourdement.

Ces données ont été combinées avec celles de plus de 2700 autres véhicules, représentant en tout quelque 28 000 tests mesurés avec des centaines de cycles de conduite différents.

Une typologie des conditions de conduite a donc été construite afin de déterminer des émissions de référence pour chacune des conditions-types. Ces émissions de référence - et les caractéristiques cinématiques des conditions-types - sont ensuite utilisées pour calculer les émissions de toute autre situation de trafic ainsi que pour élaborer des fonctions d'émissions selon la vitesse moyenne.

En parallèle, des modèles sophistiqués ont été élaborés pour le calcul de l'émission de départ à froid (tenant compte des longueurs de trajets et autres aspects liés à l'utilisation du véhicule) et le calcul de l'incidence des auxiliaires, en particulier la climatisation (s'appuyant sur les caractéristiques techniques, climatiques et comportementales).

3.2. Approche locale ou situations de trafic

Le calcul d'émission à l'échelle de la rue nécessite la définition de « situations de trafic », cohérentes, satisfaisantes par-delà les frontières et agréées par les utilisateurs. Une analyse des classifications routières existantes et des pratiques a permis d'élaborer une typologie distinguant urbain et rural, s'appuyant sur l'organisation hiérarchique et fonctionnelle du réseau routier, et déclinant routes et autoroutes selon leurs caractéristiques et vitesses limites (Tableau 1, André et al, 2006a). Les conditions de circulation sont elles-mêmes décrites qualitativement en : (1) trafic fluide (vitesse de l'ordre de 85-100% de la vitesse libre), (2) trafic chargé (vitesse contrainte autour de 65-85% de la vitesse libre), (3) trafic instable, quasi-saturé (vitesse variable avec des arrêts éventuels, autour de 30 à 60% de la vitesse libre) et (4) stop-and-go ou bouchon (vitesse de l'ordre de 10 km/h).

Pour représenter les différentes situations de trafic résultant de la combinaison des types de routes et des conditions de trafic, des vitesses ou cinématiques représentatives ont été recueillies à partir de mesures embarquées sur véhicules (données existantes). Ces courbes de vitesses types permettent - pour chacune des catégories de véhicules et selon l'approche particulière envisagée - de calculer les émissions de polluants sur chacune des situations de trafic (Figure 1).

Tableau 1 : Typologie des voies routières

	Fonction principale	Caractéristiques	Vitesse limite (km/h)
Urbain	Réseau National et Régional - Trafic de transit	5a - Autoroute	80 - 130
		5b - Route principale	70 - 100
	Réseau principal d'agglomération - réseau primaire, distribution principale	4a - Autoroute (périphérique, etc.)	60 - 110
		4b - Route principale	50 - 90
	Distribution inter quartier, réseau secondaire	3 - Route	50 - 80
	Distribution locale - échange intérieur	2 - Route	50 - 60
Voies d'accès, trafic local.	1 - Route, voie, etc..	30 - 50	
Rural	Réseau National et Régional - Trafic de transit et distribution	5 - Autoroute	80 - 150
		4 - Route principale	60 - 110
	Distribution	3 - Route	50 - 100
	Distribution locale - échange intérieur, trafic local	2 - Route	50 - 80
	Voies d'accès, trafic local.	1 - Route, voie, etc..	30 - 50

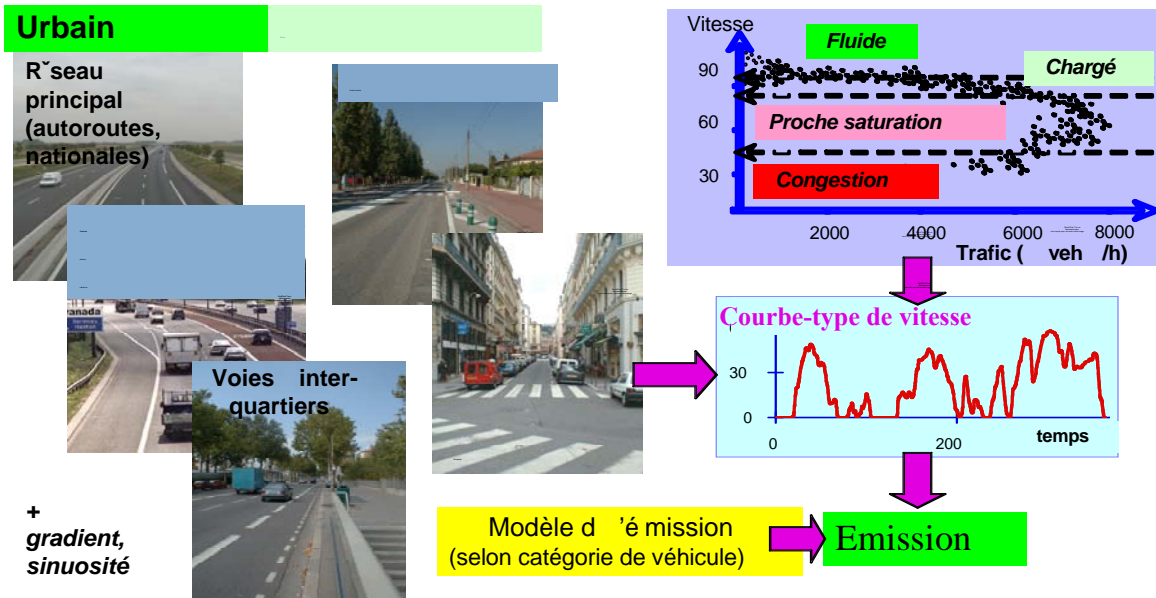


Figure 1: Illustration schématique de l'approche de calcul des émissions à l'échelle de la rue (situation de trafic)

4. Les outils Artemis (transport routier)

Les outils ARTEMIS consistent principalement en 3 modules (Figure 2):

- un modèle de parc automobile permet le calcul de la composition détaillée du parc en nombre de véhicules (parc statique) ainsi qu'en véhicules x kilomètres (volume de trafic ou parc roulant). Le parc statique repose sur une description annuelle du nombre de véhicules par catégories et de leur distribution selon l'âge (pour les années antérieures), et sur les nombres d'immatriculations et probabilités de survie pour les véhicules futurs. L'activité ou trafic combine la composition du parc en nombre et les hypothèses de kilométrage annuel, par catégories détaillées ou segments et selon le type de zone (urbain, rural, autoroutier).
- Le module « Situations et conditions de trafic » permet la distribution du kilométrage selon les types de route et conditions de circulation. Ce module spécifie également les conditions climatiques (température, climat) et d'usage (trajets, démarrages, conditions de parking conditions, distribution horaire du trafic) ainsi que leurs variations temporelles. Ces paramètres sont nécessaires au calcul des émissions liées au démarrage à froid, à l'évaporation de carburant, et à la climatisation des voitures.
- Le module « Fonctions d'émission » inclut toutes les données et fonctions d'émission nécessaires aux calculs (émission à froid, à chaud, évaporation, etc.).

Ces fonctions d'émission sont combinées aux parcs et aux scénarios de trafic pour produire à la fois des facteurs d'émission spécifiques agrégés à différentes échelles (g de polluant par km parcouru, pour une catégorie de véhicules, un parc, etc.) et des quantités d'émissions totales (tonnes de polluant) pour un cas donné (région, pays, etc.).

L'approche complexe de calcul du parc peut être remplacée par une saisie directe d'une composition de parc (évitant ainsi la saisie et surtout le recueil de données passées et futures). Le calcul d'émission peut être effectué à une échelle macroscopique (nationale ou régionale) ou par liens pour un réseau routier (interface directe avec des modèles de réseaux et de trafic).

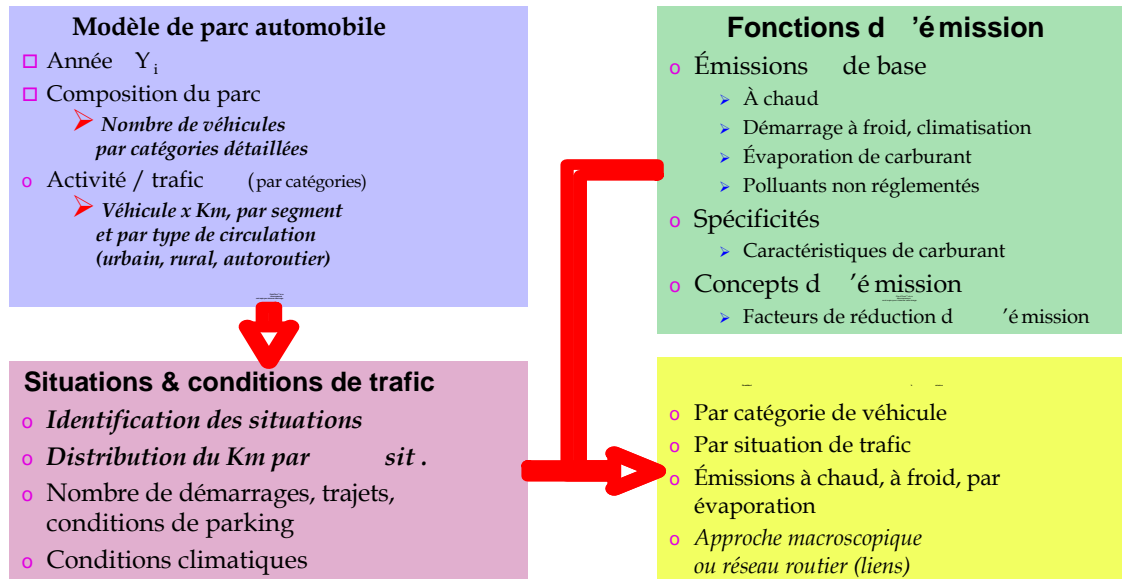


Figure 2 : Structure schématique des outils ARTEMIS

5. Applications en Suède et Algérie

La Suède a été le premier pays à utiliser les outils ARTEMIS pour calculer les émissions nationales des années 2005 et 2006 (SRA 2006, 2007) ainsi que pour d'autres applications comme l'évaluation du péage urbain à Stockholm. Dans ce but des travaux conséquents ont été entrepris pour constituer les données d'entrée et hypothèses nécessitées par la méthode.

La démarche et les principales sources de données pour estimer successivement les parcs automobiles, leurs usages (kilométrages, configurations), la distribution du kilométrage et la ventilation plus fine en situation de trafic est schématisée dans le tableau 2. Cela illustre la complexité d'un tel calcul et la nécessité de disposer de nombreuses statistiques.

En Algérie, le parc automobile croît très rapidement (10% par an) avec des conséquences en terme de congestion et de pollution de l'air dans les grandes villes. De grands chantiers sont en cours : construction d'autoroutes (1000 km pour relier l'Est à l'Ouest, ainsi que dans les zones côtières et hauts plateaux), tunnels en zones urbaines, pipeline, tramway d'Alger, télécabine, etc. La forte demande de mobilité et l'insuffisance des transports publics contribuent à une forte croissance du transport en voiture individuelle. Des carburants alternatifs comme le GPL et le gaz naturel sont encouragés, mais n'ont pas le succès escompté face au diesel notamment, et l'Algérie pourrait se trouver en situation d'importation d'ici 2012.

L'utilisation d'outils tels qu'Artemis doit permettre de suivre ces évolutions et de simuler différents scénarios, de prévoir les situations problématiques et d'évaluer l'impact sur la pollution de l'air et la consommation énergétique des grands projets de transport. Ceci doit permettre de développer des politiques basées sur des connaissances plus fiables des impacts environnementaux des transports, et d'envisager des équilibres stratégiques entre sources d'énergies et entre modes de transports (routier, rail, aérien, maritime).

Un modèle de calcul du parc automobile a déjà été construit. Les facteurs d'émissions inclus dans Artemis ne sont cependant pas toujours bien adaptés au contexte algérien, car les véhicules diffèrent tant par leur technologie que par leurs conditions d'utilisation. Des travaux ont donc été entrepris par

l'Université de Blida et l'École Polytechnique d'Alger pour construire des facteurs d'émission reflétant mieux la situation algérienne et pour caractériser les conditions de circulation.

Malgré ces difficultés, la structure flexible des outils ARTEMIS devrait permettre leur adaptation et utilisation dans un moyen terme. De plus, la prise en compte des spécificités algériennes ouvre à une amélioration des outils et un élargissement de leur champ d'application à d'autres pays.

Tableau 2. Sources d'information pour les calculs d'émissions en Suède

<i>Information</i>	<i>Sources</i>
Parc automobile	
Entrées / sorties annuelles de véhicules par catégories détaillées et Distribution selon l'âge	Fichier national des immatriculations
Distinction autobus / autocar	<i>selon nbre de passagers / poids véh.</i>
Cylindrée <i>f</i> (année, poids, puissance, carburant)	Statistiques de l'Agence Consommateurs, Suède
Concept moteur (pré-EURO à EURO4)	<i>Hypothèses d'introduction des concepts</i>
Configuration camion / camion + remorque	<i>Hypothèse de répartition du km</i>
Moteur 2 ou 4 temps (2-roues)	<i>Hypothèse <i>f</i> (année, moteur, marque)</i>
Kilométrage et usage	
Kilométrage annuel (selon catégories détaillées et âge)	Modèle fonction de : mesures de trafic, kilométrage à l'inspection (Stat. Sweden)
Caractéristiques en charge (poids lourds)	Enquête Nat. Transport Marchandises
Longueur de trajets, durée de parking, variations saisonnières, température	Véhicules instrumentés, météo
Caractéristiques carburant	EPA Suédoise, Institut de Pétrole Suédois
Distribution du kilométrage	
Kilométrage national annuel total	modèle VM (SIKA, VTI)
Par section de route: définition, vitesse limite, Trafic et % VP/PL (réseau national seulement) Répartition du trafic en Urbain / Rural	Base SIG VDB (réseau national) et NVDB (routes municipales et privées)
Trafic sur autres réseaux (4 régions types représentatives)	Modèles SAMPERS (demande) et EMME/2 (trafic)
Distribution de kilométrage selon les villes	Formule empirique : $km \approx 3976 \times Population$
Distribution détaillée selon situations de trafic	
- Répartition du Trafic total selon les Réseaux, puis selon Urbain (3 classes selon population) et Rural - puis déclinaison du trafic selon les routes (en terme de hiérarchie réseau, fonction, vitesse limite) <i>-> 33 configurations principales de voiries identifiées</i>	
Distribution selon 4 conditions de trafic	Fonction du volume de trafic, via les courbes Vitesse - débit <i>Hypothèses nécessaires pour identification de la congestion</i>
Résultats : <i>Identification de 85 situations principales de trafic (45 rurales, 40 urbaines)</i> Les 10 situations les plus fréquemment observées sont fluides et représentent 80 % du kilométrage Globalement : Trafic fluide (94% du km), chargé (3%) - saturation: 2%, congestion 0,05%	

Conclusion

Les outils ARTEMIS sont le résultat d'une large coopération européenne autour des émissions de polluants et de la consommation d'énergie des transports. Ils représentent un effort significatif de recherche et incluent un nombre considérable de nouvelles données d'émissions sur les différentes catégories de véhicules (poids lourds, 2-roues, voitures, etc.), les technologies récentes et les polluants non réglementés.

Ces outils permettent des calculs harmonisés et cohérents à différentes échelles et constituent une véritable plate-forme d'évaluation de différents projets et contextes. Leur application au cas de la Suède repose sur des statistiques détaillées de trafic et de transport.

Leur mise en œuvre en l'Algérie est moins aisée, en raison de spécificités des véhicules et des usages. Des travaux sont en cours pour l'élaboration des données nécessaires. Cela devrait être l'opportunité d'améliorer les outils et d'étendre leur champ d'application.

Remerciements : Nous remercions nos collègues suédois Å. Sjödin (Swedish Environmental Research Institute) et U. Hammarström (Swedish National Road and Transport research Institute - VTI) pour nous avoir transmis les éléments relatifs aux calculs d'émissions en Suède.

Références

- André M. (2004): The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions. *Sc. of the Tot. Envir.*, n°334-335, p. 73-84, 2004.
- André M., Fantozzi C., Adra N. (2006a) Development of an approach for estimating the pollutant emissions from road transport at a street level. Commission Européenne. Bron, France: INRETS, LTE0628, 149 p.
- André M., Rapone M., Joumard R. (2006b) Analysis of the cars pollutant emissions as regards driving cycles and kinematic parameters. ARTEMIS research project. Bron, France: INRETS, Rapport LTE0607, 136 p.
- Boulter P., McCrae I., Joumard R., André M., Keller M., Sturm P., Hausberger S., et. Ali (2007): ARTEMIS: Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems – Final Report, Deliverable 15 [A paraître]. Commission Européenne. Crowthorne, UK: TRL, Report xxx, 290 p.
- Rexeis M., Hausberger S., Riemersma I., Tartakovsky L., Zvirin Y., Cornelis E. (2005): Heavy Duty vehicle Emissions - Final COST346/ARTEMIS Report. Inst. for Int. Comb. Engines and Thermodynamics; TU Graz, 2005
- SRA (2006). 2005 - The road transport sector - Swedish Road Administration, Borlänge, Sweden. 68p.
- SRA (2007). 2006 - The road transport sector - Swedish Road Administration, Borlänge, Sweden. 72p.