



HAL
open science

Actes du Colloque International : Environnement et Transports dans des contextes différents

R Joumard, R Boughedaoui, M Goger

► **To cite this version:**

R Joumard, R Boughedaoui, M Goger. Actes du Colloque International : Environnement et Transports dans des contextes différents. ETGHAR'09, Environnement et transports dans des contextes différents, Oct 2009, GHARDAIA, France. 405p. hal-01252092v1

HAL Id: hal-01252092

<https://hal.science/hal-01252092v1>

Submitted on 7 Jan 2016 (v1), last revised 1 Feb 2016 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**International Symposium Proceedings
Environment and Transport in different contexts**

**Actes du Colloque International
Environnement et Transports dans des contextes différents**



Ghardaïa, Algeria 16 - 18 February 2009

Editors:

R. Kerbachi, R. Joumard, M. Boughedaoui, T. Goger

in partnership with / en partenariat avec



COST- the acronym for European **CO**operation in the field of **Scientific and Technical Research**- is the oldest and widest European intergovernmental network for cooperation in research. Established by the Ministerial Conference in November 1971, COST is presently used by the scientific communities of 35 European countries to cooperate in common research projects supported by national funds.

The funds provided by COST - less than 1% of the total value of the projects - support the COST cooperation networks (COST Actions) through which, with only around €20 million per year, more than 30.000 European scientists are involved in research having a total value which exceeds €2 billion per year. This is the financial worth of the European added value which COST achieves.

A “bottom up approach” (the initiative of launching a COST Action comes from the European scientists themselves), “à la carte participation” (only countries interested in the Action participate), “equality of access” (participation is open also to the scientific communities of countries not belonging to the European Union) and “flexible structure” (easy implementation and light management of the research initiatives) are the main characteristics of COST.

As precursor of advanced multidisciplinary research COST has a very important role for the realisation of the European Research Area (ERA) anticipating and complementing the activities of the Framework Programmes, constituting a “bridge” towards the scientific communities of emerging countries, increasing the mobility of researchers across Europe and fostering the establishment of “Networks of Excellence” in many key scientific domains such as: Biomedicine and Molecular Biosciences; Food and Agriculture; Forests, their Products and Services; Materials, Physics and Nanosciences; Chemistry and Molecular Sciences and Technologies; Earth System Science and Environmental Management; Information and Communication Technologies; Transport and Urban Development; Individuals, Society, Culture and Health. It covers basic and more applied research and also addresses issues of pre-normative nature or of societal importance.

Environment and Transport in different contexts **Environnement et Transports dans des contextes différents**

Proceedings of International Symposium, Algiers 16 - 18 February 2009
Actes du Colloque International, Alger 16 – 18 Février 2009

The production of this publication was supported by:
COST: www.cost.esf.org and ANDRU www.andru.dz

Editors: Rabah Kerbachi, Robert Joumard, Ménouèr Boughedaoui, Thierry Goger

Cover Design: Ménouèr BOUGHEDAOU

© 2008 The Authors and the Editors

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, without prior written permission from the publisher.

The Editors, the Authors and the Publisher are not responsible for the use which might be made of the information contained in this publication.

Publisher: Ecole Nationale Polytechnique, Alger.

Printed in Algiers by Impression Moderne, 2009

February 2009, 400 Copies

Table des matières

Allocution du Ministre Déléguée Chargée de la Recherche Scientifique, Souad Bendjaballah	1
Assessment of the exposure to formaldehyde while driving: a feasibility study, Benjamin Hanoune	5
The Impact of the Transport Sector on PM Levels in Hyderabad, India, Alan Gertler, Sarath Guttikunda & Ramani Koppaka	15
Mesure des concentrations de polluants émis par le transport automobile dans l’habitacle d’un véhicule inséré dans le trafic routier, Jean-Paul Morin, Frantz Gouriou, David Preterre, Véronique Delmas & Michel Bobbia	25
Pollution par les particules fines dans l’agglomération d’Alger, R. Kerbachi, N. Oucher, A. Bitouche, N. Berkouki, B. Demri, M. Boughedaoui & R. Joumard	36
Grands projets d’infrastructure, construction géopolitique et enjeux environnementaux : analyse comparée du projet Lyon-Turin et du projet de franchissement du Détroit de Gibraltar, Lisa Sutto & Olivier Klein	49
Le commerce Afrique-Union Européenne de produits végétaux tempérés, conséquences locales et impacts environnementaux globaux, Mathieu Strale	63
Mesure des émissions de VUL avec un système embarqué à Blida (Algérie), M. Boughedaoui, Saadane Chikhi, Noredine Driassa, Rabah Kerbachi, Robert Vidon, & Robert Joumard	70
Simulation numérique de la ventilation d’un tunnel par des rideaux d’air, Monia Aloui, Ali Hatem Laatar, Ali Belghith & Patrick Le Quere	81
Quantification des groupements paysagers périphériques au tronçon autoroutier Annaba – El Hadjar –Annaba, Djamel Fadel, Aziz Laifa & Rachid Djamaï	89
Impact des infrastructures de transport sur les paysages ordinaires : Application au cas de l’espace périurbain liégeois en Belgique, Jacques Teller & Veronica Cremasco	101
Sustainable Transport Practices in Latin America, Jorge Rogat & Miriam Hinostroza, Ernest Kamala	110
Experiences of retrofit particulate filters for diesel city buses and passenger cars, Tamás Meretei & Péter Bodor	121
The influence of a “de minimis” clause on the CO2 emissions of developing countries’ flights to or from the European Union – A Belgian case-study, Julien Matheys , Jean-Marc Timmermans , Nele Sergeant , Heijke Rombaut , Fayçal Boureima & Joeri Van Mierlo	132
Variété des systèmes de mobilité urbaine face aux enjeux de développement et	144

d'environnement, Xavier Godard

Evaluation de l'intermodalité du transport régional et son impact sur l'environnement à l'est d'Alger, Mohamed Lazhar Benaissa, Ménouër Boughedaoui & Robert Joumard	160
Typology of the chains of causalities of environmental impacts in the transport sector, Robert Joumard & Santiago Mancebo	174
Influence du trafic routier sur la pollution atmosphérique dans la ville d'Oran, F. Rahal, N. Benharat, DD. Rahal & F.Z. Baba Hamed	187
Concentrations et flux des retombées particulaires et métalliques au niveau de l'agglomération de Constantine, Nassira Seraghni, Hocine Ali- Khodja & A.F. Derradji	192
Transport, pollution atmosphérique, et santé au Maroc : situation, impacts et prévention, Mohamed M'hamdi	201
Prédiction de la concentration d'un polluant dans l'air à proximité d'une route, Hassane Graïne	207
L'impact des transports sur les îlots de chaleur en milieu urbain, Haddad Louiza, Aouachria Zéroual & Sefouhi Linda	214
Estimation de la pollution atmosphérique hydrocarbonée issue de la circulation automobile dans la ville de Skikda (Algérie) à l'aide de transplants lichéniques, Djamel Fadel, Rachid Djamaï & Aziz Laïfa	222
Construction de routes, transports et impacts sur la santé dans la zone soudano sahélienne de l'Afrique, Poda J.N, Dianou D., Zongo D. & Sondo K.B	229
Experimental analysis of the acoustical screen effect of jet blast deflectors during jet engine ground run-ups, Mohamed Bouadjelane	239
Niveau de contamination par les éléments traces métalliques (ETM), des sédiments des oueds Rhumel et Sakiet Roum, dans la zone industrielle du complexe de l'ENMTP et à Constantine, Fatima-Zohra Afri-Mehennaoui, Leila Salhi & Naziha Zerief	246
Analysis of Transportation External Costs for Sustainable Development, Rezaee-Arjroody, F. Zahed & A. Tasbihi	255
La performance du gaz de pétrole liquéfié (GPL) en comparaison avec l'essence commerciale (Magna) dans un moteur à allumage commandé, à 2240 m (México), Rogelio Gonzalez, Francisco Gonzalez, Esteban Barrios , Israel Martines , William Vicente & Santos Mendez	263
Numerical simulation of the turbulent combustion and soot of diffusion flame, Karima Boussouara & Mahfoud Kadja	272
Caractérisation du parc de véhicule algérien et son usage, Boughedaoui M., Chikhi	284

S., Driassa N., Kerbach R. & Joumard R.	
Développement spatial et transport à Annaba, Nacima Hacini-Chikh	291
Urban transport and poverty patterns in selected Islamic countries, Manouchehr Vaziri & Neema Nasseer	309
La mobilité quotidienne et les transports en commun urbains à Alger, Chabane Lila	315
Les déplacements d'achats motorisés des ménages : Un enjeu environnemental majeur. Le cas de l'agglomération du Havre, Hani Mohamed	322
La protection des plaines inondables et la planification des infrastructures routières au Québec: les cas des autoroutes 30 et 35, Bernard McCann	330
Impact du parc automobile sur la congestion du trafic et la pollution de l'air dans la ville de Yaoundé, Alice. Matchebou, Joëlle Yamba & Thomas Tamo Tatiêtse	342
An integrated model to evaluate road traffic emissions in wide-area planning, Luigi Piemontese & Francesco Pisano	351
Inventaire des émissions du parc de véhicules routiers en Algérie, Driassa Noreddine, Boughedaoui Ménouèr, Chikhi Saadane, Kerbach Rabah, Vidon Robert, André Michel & Joumard Robert	361
Environmental Impact Assessment (EIA) Guidelines and Selecting the Best Method of EIA for Land Transportation in Iran, Fatemeh Zahed & Abdolreza Rezaee Arjroody	376
L'empreinte écologique liée à la mobilité quotidienne et son évolution lors de la réhabilitation de quartiers défavorisés de la banlieue lyonnaise, Louafi Bouzouina, Jean-Pierre Nicolas	388
La superposition des différents moyens de transport et leurs impacts sur l'environnement. Cas d'Alger, Mounya Daoudi	388
Gestion durable des territoires et Politique publique de transport dans la wilaya de Tizi-Ouzou, Dalila Amiri et Malika Ahmed Zaid	397
Impact environnemental du secteur du transport en Tunisie, Hassaïri Mohamed	400
Conclusion et recommandations du colloque	407
Note de création du Réseau RETA	410

Allocution de Madame la Ministre Déléguée Chargée de la Recherche Scientifique

Monsieur le Wali,

Monsieur le Président de l'Assemblée Populaire de wilaya,

Distingués invités,

Mesdames et Messieurs.

Je voudrais tout d'abord, vous dire combien je suis heureuse d'être parmi vous aujourd'hui, dans le cadre de ce colloque international qui se veut un espace de concertation et d'échange autour d'un thème important, à savoir l'environnement et le transport.

Je remercie les organisateurs de cette rencontre, d'une part pour m'avoir fait l'honneur de m'inviter à présider son ouverture, et d'autre part pour leurs efforts qui s'inscrivent dans le cadre de la mise à contribution de la recherche scientifique au service du développement économique et social.

A toutes et à tous, je souhaite la bienvenue et un agréable séjour parmi nous, et en particulier aux participants venus de l'étranger.

Permettez moi de saisir cette occasion pour rappeler tout l'intérêt qu'accorde le Gouvernement à un certain nombre de secteurs, dont le transport et l'environnement eu égard à leur impact aux plans économique et social, en plus bien entendu du secteur de la recherche scientifique, lequel constitue aujourd'hui le levier principal de la croissance et de la compétitivité.

Mesdames et Messieurs,

J'aimerais souligner, en effet, qu'en ce qui concerne la recherche, la loi 98-11, modifiée et complétée, portant loi d'orientation et de programme à projection quinquennale sur la recherche scientifique et le développement technologique 1998-2002 a fixé, dans le rapport général qui lui est annexé, les objectifs socio-économiques, entre autre, du secteur de l'environnement dont l'objectif principal réside dans la lutte contre les pollutions, ainsi que la prise en charge et la gestion des effets sur les populations et les écosystèmes. Ces objectifs ont été déclinés sous forme d'un programme national de recherche sur l'environnement, mis en œuvre à travers des projets de recherche.

Quant au secteur des transports, considéré comme le poumon de l'économie moderne, ses objectifs scientifiques visent, notamment, le développement et la mise en œuvre des systèmes de surveillance et de gestion de la sûreté et de la

sécurité, des moyens d'exploitation des matériels de transport et leur maintenance, des moyens de mesure et d'analyse de la pollution sonore et atmosphérique générés par les transports terrestres, des systèmes d'éducation et de formation en matière de sécurité routière et prévention des accidents de la circulation et enfin des systèmes d'information et de télécommunication.

Ceci, en plus des axes de recherche relatifs aux moyens de transports, à la conception d'ouvrages, et d'infrastructures spécialisées, à l'économie des transports et à la régulation du trafic routier.

Par ailleurs, un dispositif législatif et règlementaire a été élaboré, dont la loi relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. A travers les instruments de gestion de l'environnement et des prescriptions de protection environnementale qu'elle institue, cette loi se donne comme objectifs, notamment, de fixer les principes fondamentaux et les règles de gestion de l'environnement, de prévenir toute forme de pollution ou de nuisance à l'environnement et de promouvoir l'utilisation écologiquement rationnelle des ressources naturelles disponibles.

Mesdames et Messieurs,

Comparé aux autres modes existant tels que le transport aérien, le transport ferroviaire et le transport maritime, le transport routier constitue, en Algérie, le moyen le plus usuel que ce soit pour le transport des personnes ou celui des marchandises.

Il est aisé de constater que dans les grands centres urbains, où l'offre en transport en commun reste insuffisante, le recours au véhicule individuel paraît la solution à de nombreux citoyens. Devant l'offre des concessionnaires automobiles et la possibilité d'achat à crédit, de nombreux citoyens ont accès à un véhicule neuf. Ceci n'a pas manqué de générer un accroissement rapide du parc automobile, provoquant une saturation du réseau routier dans certaines wilaya et notamment celles du nord du pays où le taux d'urbanisation est en constante progression, ainsi qu'une demande sans cesse croissante en carburant, notamment en gasoil. On est ainsi confronté à une situation où la motorisation et le trafic sont en perpétuelle croissance générant des impacts néfastes sur l'environnement et la société, tels que les émissions polluantes de plus en plus importantes contribuant à la dégradation de la qualité de l'air en milieu urbain, l'atteinte à la santé publique, l'accroissement du nombre d'accident avec plus de 4000 décès sur les routes en 2008.

A cela, vient s'ajouter la congestion des voies de circulation en zone urbaine, ce qui constitue non seulement un problème environnemental, mais également économique en raison des pertes occasionnées pour le déplacement des personnes et la livraison des marchandises.

Mesdames et Messieurs,

Face à cette situation, l'Algérie déploie des moyens pour maîtriser, voir réduire, ces impacts tout en assurant un développement des transports à travers le territoire national.

Notre pays a consacré de gros efforts d'investissement pour l'extension et la maintenance du réseau routier. La réception en 2009-2010 du réseau autoroutier d'Est en Ouest et le développement de la rocade des Hauts Plateaux avec des pénétrantes la liant à l'autoroute du nord du pays permettront de désenclaver l'intérieur du pays, de fixer les populations et créer les bases d'un développement économique durable.

Dans les grandes agglomérations urbaines, des chantiers de nouveaux moyens de transport ont été initiés. A Alger, le métro est en phase de finalisation. De nombreux projets de tramway et de télécabines sont prévus afin de réduire la pression sur les routes de certaines grandes villes qui connaissent déjà la saturation.

Face à une trilogie interdépendante des transports, de l'énergie et de l'environnement, ce colloque constituera, j'en suis convaincue, un espace d'échanges en termes de réalisations menées et leur évaluation et ce, entre les compétences scientifiques ici présentes d'une part, et entre ces dernières et les partenaires représentant des institutions concernées d'autre part.

L'implication de la communauté scientifique internationale et le soutien de la Coopération Européenne en Sciences et Technologie dans ce champ pluridisciplinaire de ce colloque constituent un gage de succès de cette manifestation scientifique.

Caractérisé par une transversalité en termes de disciplines, de secteurs, d'institutions nationales et internationales concernés, au-delà de l'importance de son thème, ce colloque constituera, j'espère, le lancement d'un véritable partenariat entre le communauté scientifique et technique d'une part et les acteurs concernés par les transport et l'environnement d'autre part.

Ce partenariat, appelé à se développer dans le cadre d'un réseau à caractère à la fois intersectoriel et pluridisciplinaire de recherche, d'observation, d'échange d'informations et de connaissances, de confrontation de résultats et d'aide à la décision, doit regrouper l'ensemble des parties concernées.

Cette approche pour la mobilisation des ressources humaines, la fédération des énergies, la mutualisation des moyens et enfin le partage des savoirs à travers des réseaux thématiques de recherche s'inscrit pleinement dans la nouvelle politique de la recherche scientifique et du développement technologique, qui vient consolider et capitaliser les acquis de la loi 98-11.

En effet, considérés par la loi susmentionnée comme priorité nationale, la recherche scientifique et le développement technologique visent le développement économique, social, culturel et technologique du pays. Partant de ces dispositions législatives, la nouvelle démarche consiste à arrêter les objectifs de recherche en concertation avec les entreprises et autres partenaires socio-économiques concernés, tout en réduisant les intermédiations inutiles et en assurant la stabilité dans l'organisation des activités de recherche ainsi que la souplesse dans les modes de gestion, la coordination des initiatives et enfin l'ouverture sur l'environnement national et international.

Avant de terminer, je présente mes félicitations aux comités scientifique et d'organisation et je remercie les institutions ayant contribué à l'organisation de cette rencontre. De même que je remercie en particulier Monsieur le Wali pour avoir bien voulu abriter vos travaux et pour sa disponibilité et le soutien qu'il a apporté à la bonne organisation de ce colloque sur l'environnement et le transport dans des contextes différents que je déclare ouvert, en vous souhaitant plein succès dans vos travaux.

Je vous remercie pour votre attention.

Assessment of the exposure to formaldehyde while driving: a feasibility study

Benjamin Hanoune

Physico-Chimie des Processus de Combustion et de l'Atmosphère, UMR
CNRS/USTL 8522

Bâtiment C11, Université des Sciences et Technologies de Lille, 59655

Villeneuve d'Ascq, France

Fax +33 3 20 43 69 77 - email : benjamin.hanoune@univ-lille1.fr

Abstract

In this paper we demonstrate the feasibility of formaldehyde quantification inside a moving vehicle. This allows assessing the exposure of driver and passengers to this allergenic and carcinogenic pollutant in real driving conditions, and exploring the origin of the formaldehyde measured inside the vehicle. Part of the formaldehyde may be intrinsically emitted by the materials inside the car, such as plastics or fabric, therefore strongly depending on the temperature and humidity conditions, but we have to consider formaldehyde coming from outside air entering the vehicle, which is dominated by the emissions in the exhaust gases of surrounding vehicles.

Keys-words: air pollution, in-vehicle air, people exposure, formaldehyde, on-road analysis.

Résumé

Dans ce travail nous démontrons la possibilité de quantifier le formaldéhyde dans un véhicule pendant son utilisation. Ceci permet d'évaluer l'exposition du conducteur et des passagers à ce polluant allergénique et cancérigène dans des conditions réelles, et d'explorer l'origine du formaldéhyde dans l'habitacle. Une partie du formaldéhyde peut être émis par les matériaux du véhicule, comme les plastiques ou les tissus, et donc serait très dépendant des conditions de température et d'humidité. Cependant, le formaldéhyde peut également provenir de l'air extérieur entrant dans le véhicule, qui est dominé par les émissions dans les gaz d'échappement des véhicules alentour.

Mots-clefs: pollution de l'air, air de l'habitacle, exposition des personnes, formaldéhyde, analyse en conditions réelles.

1. Introduction

In spite of the relatively small concentration of formaldehyde measured in the air, typically 1 to 10 ppbv in urban environment, and less than 1 ppbv in rural air, formaldehyde is nowadays a target component of air pollution studies, because its adverse sanitary effects have been recognized, because it is a key species in the atmospheric chemical system, and because it is an ubiquitous pollutant, in particular in confined environments, where concentrations above 100 ppbv are not unusual. Formaldehyde is indeed widely used for industrial applications and is emitted by many materials such as plastics, fabric, solvents..., though the emissivity of these materials is not yet fully determined. Another major source of formaldehyde is combustion, and specifically the emissions of formaldehyde by vehicles have been also widely studied, in relation to the general outdoor air quality.

Vehicles constitute a small volume micro-environment where pollutants, and in particular aldehydes, can have many sources: indoor material emissions, gasoline loss and exhaust leakage (self-pollution), and infiltration of outdoor air. Additional sources of pollutants are related to potential photochemical formation inside the car, as well as the habits of the driver and passengers, namely smoking, the use of air fresheners (Lamorena & Lee (2008))... However, the assessment of air quality inside vehicles and the exposure of people in this environment is comparatively a recent field of research. The first studies investigated the levels of VOCs, CO, PM, ozone and NO₂ inside vehicles (see for instance Chan et al. (1991)). A specific interest was developed for formaldehyde measurements inside cars by Jo & Lee (2002) after the initial work of Rodes & al. (1998), but still the number of studies where formaldehyde is quantified inside vehicles remains scarce. Lawryk et al. (1995) reported results during commutes on the New Jersey and New York City area, Rodes et al. (1998) and Sabin et al. (2005) studied the exposure of persons in California, and Jo & Lee (2002) in Taegu, Korea, Shiohara et al. (2005) in Mexico City, Pang & Mu (2007) and Zhang et al. (2008) in Beijing. These studies showed that the formaldehyde concentration inside the vehicle is much higher than the outdoor concentration, that intake from outside air through the hood, the windows or the vents is important, so that the formaldehyde concentration inside is strongly dependent upon the traffic conditions, and upon the vehicle that is followed. Another important factor seems to be the temperature inside the car and the temperature difference between indoor and outdoor air.

Considering the differences in the vehicles, in the gasoline composition, in the geographical and meteorological conditions, the results obtained in these studies cannot be extrapolated to other countries. We have tried to address this lack of data regarding the French car fleet, using the infrared tunable diode laser spectrometer, originally designed for the real-time quantification of formaldehyde at trace level in outdoor air. As the spectrometer cannot be installed into a vehicle,

we have developed a specific sampling procedure, followed by analysis of the samples in the laboratory. Our method is an alternative to the standard aldehydes quantification by sampling on DNPH cartridges and subsequent analysis by UV-HPLC.

2. Analysis and sampling methodology

2.1. Formaldehyde quantification by infrared diode laser spectroscopy

The spectrometer used for the quantification of formaldehyde is fully detailed in Dusanter et al. (2002) and will only be briefly described here. It is represented on Figure 1. The infrared radiation emitted by a tunable liquid-nitrogen-cooled lead-salt laser is actively stabilized on a formaldehyde absorption line around 2829 cm^{-1} . The 30 meter absorption cell initially under vacuum is filled with the sample to analyse up to about 12 Torr. The absorption signal S is recorded during this step together with the pressure. The slope at origin of the resulting S vs. P curve is proportional to the molar fraction of formaldehyde inside the sample. Absolute calibration of the spectrometer response is provided by a permeation system delivering a known formaldehyde concentration. Uncertainty in the measured concentration is about 10%. Comparison of the performance of the spectrometer with the standard UV-HPLC analysis of samples collected on DNPH cartridges has been established in a former study on the quantification of formaldehyde in libraries (Hanoune et al. (2006)).

2.2. Sampling methodology

Air samples from inside the vehicle are collected into 10L Tedlar bags using PTFE tubing and a KNF™ sampling pump when working on vehicles at rest. For on-road experiments, a Rakoon™ air inflator powered by the car 12V electrical system was used (Figure 2). Sample collection takes about two minutes. Air was sampled in the front passenger breathing zone, but it is assumed that the concentration is homogeneous inside the entire passenger compartment, as discussed by Lawryk et al. (1995).

The volume collected in the Tedlar bags is amply sufficient for a repeated analysis of the sample, as only 0.2L of sample material at atmospheric pressure is needed for the formaldehyde quantification. This allows to repeat the analysis several times, and to check the stability over time of the sample inside the Tedlar bag, as had been done in our previous work (Hanoune et al. (2006)). The formaldehyde concentration in the sample bag does slowly evolve over several days and tends to equilibrate with the formaldehyde concentration in the room where the bag is stored. The initial formaldehyde concentration can be determined directly if the analysis is performed less than an hour after the collection of the sample. Alternatively, the initial concentration can also be extrapolated from the time series of the concentration measurement for one bag.

In the present study, the analysis of the samples were made within an hour after sampling, so as to eliminate the risk of sample evolution, because the concentrations of formaldehyde are quite low, even lower than the laboratory concentration of 6 to 8 ppbv.

2.3. Car fleet

The vehicles under study here are not representative of the French fleet, but were chosen for their availability. Both Diesel and gasoline powered cars were tested, as well as new and old cars, compact and mid-sized cars. No specific attention was taken to the general state or cleanliness of the cars.

3. Validation in simulated and real traffic conditions

3.1. Formaldehyde background concentration in vehicles at rest

A first set of experiments was performed in winter (external temperature around 0 °C) on vehicles at rest on a parking lot close to the laboratory. Air samples were collected using the KNF pump placed inside the car, with the air inlet in the breathing zone of the front passenger. To reproduce the normal air-tightness of the car, the electrical power cord was pinched in the door of the car. Alternate measurements were perfumed with the sampling Teflon tubing entering the car through the window. No significant differences were noted in the analysis of the samples using the two methods, as expected when we consider the short time needed for the sample collection.

The results are displayed in Figure 3. There is, as expected, a low background concentration of formaldehyde inside the cars, with individual variations in the range 0.6 to 6.9 ppbv. This concentration range is similar but exceeds the concentration of formaldehyde in the outside air, which was measured simultaneously and ranges from 1 to 3 ppbv. The lowest concentrations of formaldehyde inside the cars were found for vehicles that had been at rest on the parking lot for a longer time. One measurement gave a value of 15.5 ppbv, even though the vehicle had been at rest for a few hours. This was attributed to the nearby presence of an air conditioning exhaust, and the experiment, performed anew one hour later on another parking spot, led to a concentration of 2 ppbv, within the range of the other data.

3.2. Simulated traffic conditions

Traffic conditions were crudely simulated using two vehicles. The first one acted as the pollution source, and was placed about two meters in front of the vehicle under investigation. The polluting vehicle underwent irregular accelerations to 2000-3000 rpm, so as to approach the conditions of urban dense traffic. The second vehicle was at rest. The wind speed was not measured, but the direction of the wind was not in the axis of the cars, leading to only a fraction of the exhaust gas going in the direction of the second car.

When the leading vehicle was Diesel fuelled, two sets of experiments were performed, to test for the venting and heating conditions. With the vents closed and no heating in the vehicle under test, though unrealistic conditions in winter, formaldehyde concentrations measured inside the car climbed from 2.8 ppbv before the experiment, which corresponds to the outdoor formaldehyde concentration, to 10 ppbv after 10 minutes. Formaldehyde was also measured on the hood of the test car, to evaluate the exhaust emissions of the polluting car, with a value of about 25 ppbv. With the heating system on, the indoor concentration measured climbed from 2 ppbv to 33 ppbv, independently on the state of the venting system, and formaldehyde concentration above the hood was 13.4 ppbv. These is however no way of determining so far whether the concentration levels measured on the hood come solely from the exhaust of the front vehicle, or also from formaldehyde possibly emitted by the engine.

When the polluting vehicle was gasoline fuelled, the concentration climbed from 0 to 7 ppbv only.

These preliminary experiments show that the formaldehyde coming from outside is a major source of pollution inside the car, as was already found in previous studies, and that the heating system also generates or propagates formaldehyde inside the car.

3.3. On-road measurements

A last set of experiment was performed in one vehicle moving in the Lille area, and sampling was done with the Rakoon™ pump in three completely different situations. Formaldehyde concentrations measured in this configuration range from 4.7 ppbv on the covered parking lot of a mall, to 16.6 ppbv during a stalled traffic situation at a highway interchange, with intermediate concentration of 11.1 ppbv when stopping at a traffic light, close to a visibly polluting Diesel truck. This set of experiments illustrates the quick variability of the formaldehyde concentration, as the total time for the 3 measurements was only 18 minutes, and the possibilities of our sampling and analysis system to monitor these short term variations.

4. Discussion

The aim of the present study was only to validate the methodology to quantify formaldehyde in real traffic conditions. Significant data could only be obtained on a much more consequent number of vehicles, which would ideally be representative of the French fleet. A thorough study would also require the systematic analysis of the formaldehyde concentration by the side of the road, as was done in other studies (for instance Pang & Mu 2007).

However, a few remarks can be made concerning the observed levels of formaldehyde inside the vehicles, and its origin.

The background formaldehyde concentration inside the vehicles measured in winter is low and comparable to the outdoor concentration, and seem to decrease with the length of time the car has been at rest. A couple of measurements after a short drive led to concentrations in the cars of about 20 ppb. This would indicate that all sources of formaldehyde are temperature dependent, and that air exchange between indoor and outdoor is a major factor. This effect is further demonstrated by the one experimental result that we rejected on cars at rest, where the concentration of formaldehyde inside the car was measured to be 15.5 ppbv, even though the vehicle had been at rest for a few hours, which was attributed to a nearby air conditioning exhaust pipe.

The influence of air exchange between the interior of the car and the surrounding air is further demonstrated in the on-road experiments, where the rapid variations of formaldehyde concentration inside the car can be solely attributed to the exterior factors, i.e. the local air pollution and therefore the traffic conditions.

The effect of outside temperature on the pollution levels inside cars has been the object of debate. Results from Jo & Lee (2002) do not agree with our observations, though other studies do, such as the work of Weisel et al. (1992). Jo & Lee (2002) only discuss the external formaldehyde contribution of the self-pollution by the emission of the car, but the discrepancies could also be attributed to internal factors related to the materials of the car, or to the heating of the car, which is also supported by our results. The emission of formaldehyde by the articles inside the cars is discussed more in detail by Schupp et al. (2005), who extrapolated for instance concentrations of formaldehyde at 65°C (corresponding to a car parked in the sun) above 1000 ppbv. The seasonal effect is also described by Yoshida & Matsunaga (2006), who demonstrated at the same time the intrinsic emission of formaldehyde by new cars.

As to the main source of formaldehyde in the outdoor air, it is without any doubt linked to the emissions by the vehicles in the traffic. Our results indicate that Diesel cars produce more formaldehyde than gasoline cars. This is supported by other studies where a comparison of unregulated pollutants was made, such as the work of Caplain et al. (2006). Alternative fuels such as biodiesel blends would seem to reduce the emissions of formaldehyde, as presented by Peng et al. (2008), but not ethanol-blended fuel, as demonstrated by Pang et al. (2008)

5. Conclusion

This study demonstrates the feasibility of on-road formaldehyde quantification. This technique will possibly allow investigating the main parameters upon which depends the formaldehyde concentration inside a vehicle: outdoor air, self-emission, materials emissivity, heating, venting, fuel composition, vehicle eventual malfunction... This technique provides near-time resolved results, as it only necessitates small sampling time and small volume samples, which is not the

case with conventional sampling on DNPH-impregnated cartridges and HPLC analysis. With the rapid response of the technique, it will be easier to determine the contribution of each of the sources of formaldehyde, in controlled conditions, as well as during road experiments.

These first experimental results on the formaldehyde concentrations inside vehicles in France agrees in general with the data collected in other countries.

Acknowledgments

This work was supported by the Institut de Recherche en Environnement Industriel (IRENI), which is financed by the Région Nord-Pas de Calais, the Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, and European funds (FEDER). The author wishes to thank C. Schadkowski of the Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique for initiating this project.

References

- 1- Caplain I., F. Cazier, H. Nouali, A. Mercier, J.-C. Déchaux, V. Nollet, R. Joumard, J.-M. André & R. Vidon (2006) : Emissions of unregulated pollutants from gasoline and diesel passenger cars, *Atmos. Envir.*, vol. 40, p. 5954-5966
- 2- Chan C.-C., H. Özkaynak, J.D. Spengler & L. Sheldon (1991): Driver exposure to volatile organic compounds, CO, ozone, and NO₂ under different driving conditions, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 25, p. 964-972
- 3- Dusanter S., B. Lemoine, B. Hanoune & P. Devolder (2002) : Variable pressure infrared diode laser spectroscopy : a new method for trace gas monitoring, *Applied Optics*, vol. 41, p. 5142-5147
- 4- Hanoune B., T. LeBris, L. Allou, C. Marchand & S. Le Calvé (2006) : Formaldehyde measurements in libraries : comparison between infrared diode laser spectroscopy and a DNPH derivatization method, *Atmos. Envir.*, vol.40, p. 5768-5775
- 5- Jo W.-K. & J.-W. Lee (2002): In-vehicle exposure to aldehydes while commuting on real commuter routes in a Korean urban area, *Environ. Res.*, vol. 88, p. 44-21
- 6- Lamorena R.B. & W. Lee (2008) : Influence of ozone concentration and temperature on ultra-fine particle and gaseous volatile organic compound formations generated during the ozone-initiated reactions with emitted terpenes from a car air freshener, *J. Hazard. Mater.* (in press)
- 7- Lawryk N.J., P.J. Liroy & C. Weisel (1995): Exposure to volatile organic compounds in the passenger compartment of automobiles during periods of normal and malfunctioning operation, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, vol. 5, p. 511-531
- 8- Pang X. & Y. Mu (2007): Characteristics of carbonyl compounds in public vehicles of Beijing city: concentrations, sources, and personal exposures, *Atmos. Envir.*, vol. 41, p. 1819-1824
- 9- Pang X., Y. Mu, J. Yuan & H. He (2008): Carbonyls emission from ethanol-blended gasoline and biodiesel-ethanol-diesel used in engines, *Atmos. Envir.*, vol. 42, p. 1349-1358

- 10- Peng C.-Y., H.-H. Yang, C.-H. Lan & S.-M. Chien (2008) : Effects of biodiesel blend fuel on aldehyde emissions from diesel engine exhaust, Atmos. Envir., vol. 42, p. 906-915
- 11- Rodes, C., L. Sheldon, D. Whitaker, A. Clayton, K. Fitzgerald, J. Flanagan, F. DiGenova, S. Hering & C. Frazier (1998): Measuring concentrations of selected air pollutants inside California vehicles. California Air Resources report n° PB-99-161028/XAB, 536p.
- 12- Sabin L.D., E. Behrentz, A.M. Winer, S. Jeong, D.R. Fitz, D.V. Pankratz, S.D. Colome & S.A. Fruin (2005): Characterizing the range of children's air pollutant exposure during school bus commutes, J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol., vol. 15, p. 377-387
- 13- Schupp T., H.M. Bolt & J.G. Hengstler (2005): Maximum exposure levels for xylene, formaldehyde and acetaldehyde in cars, Toxicology, vol. 206, p. 461-470
- 14- Shiohara N, A.A. Fernandez-Bremauntz, S.B. Jiménez & Yukio Yanagisawa (2005): The commuters' exposure to volatile chemicals and carcinogenic risk in Mexico City, Atmos. Envir., vol. 39, p. 3481-3489
- 15- Weisel, C.P., N.J. Nicholas & P.J. Liroy (1992): Exposure to emissions from gasoline within automobile cabins, J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol., vol. 2, p.79-96
- 16- Yoshida T. & I. Matsunaga (2006): A case study on identification of airborne organic compounds and time courses of their concentrations in the cabin of a new car for private use, Envir. Intern., vol. 32, p. 58-79
- 17- Zhang G.-S., T.-T. Li, M. Luo, J.-F. Liu, Z.-R. Liu & Y.-H. Bai (2008): Air pollution in the microenvironment of parked new cars, Build. Envir., vol. 43, p. 315-319

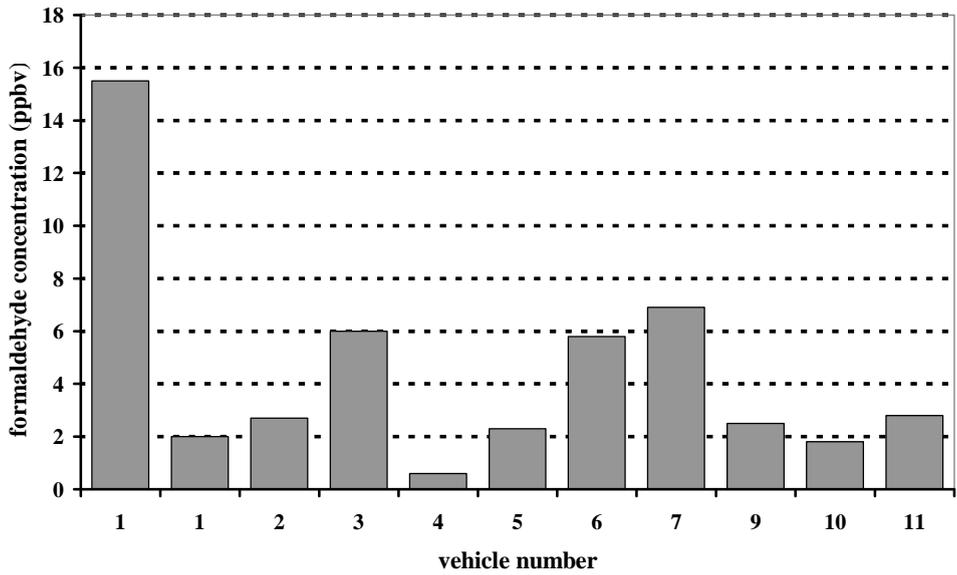


Figure 3: Formaldehyde concentration in cars at rest. For vehicle #1, the first value corresponds to the measurement performed when the car was under the influence of an air conditioning outlet, the second value when it was away from the outlet.



Figure 1: View of the infrared tunable diode laser spectrometer used for the quantification of formaldehyde.



Figure 2: View of the in-car sampling system.

International symposium Environment and Transport in different contexts,
Ghardaïa, Algeria, 16-18 Feb. 2009. Proceedings, ENP ed., Algiers, p. 15-24.

The Impact of the Transport Sector on PM Levels in Hyderabad, India

Alan Gertler *, Sarath Guttikunda * & Ramani Koppaka **

*Desert Research Institute, 2215 Raggio Parkway, Reno, Nevada 89512, USA
Fax +1 775 674 7061 - email: alang@dri.edu

**Andhra Pradesh Pollution Control Board, A-3, Industrial Estate, Sanathnagar,
Hyderabad 500018 India

Résumé

Avec près de 7 millions d'habitants, Hyderabad est la cinquième plus large agglomération d'Inde et l'une des plus polluées de sa région. Afin d'améliorer la qualité de l'air et d'encourager le développement d'une gestion locale de cette problématique, plusieurs séries de mesures de PM_{10} et $PM_{2.5}$ ainsi que des études de répartition des sources ont été réalisées en novembre/décembre 2005, mai/juin 2006, et octobre/novembre 2006. Au cours de ce programme, des filtres ont entre autres été prélevés toutes les 24 heures pour l'analyse du PM_{10} et $PM_{2.5}$ sur trois sites permettant de retracer les niveaux de fond, l'impact des sources mobiles et l'exposition dans les zones résidentielles. La masse, le contenu ionique, les métaux traces, le carbone élémentaire et organique ont été analysés dans les échantillons collectés. Un modèle de bilan de masse chimique (CMB – chemical mass balance) a ensuite permis d'estimer la nature et l'importance des sources responsables des niveaux élevés de PM. En moyenne, les émissions directes par les véhicules ont représenté approximativement 50% des masses de PM_{10} et $PM_{2.5}$ observées. Des contributions significatives des sols (principalement des routes où les poussières sont remobilisées par la circulation), des feux agricoles où de biomasses, des polluants secondaires (sulfate d'ammonium ou nitrate) ont également été identifiées. Ces résultats de répartition des sources sont enfin accompagnés par des propositions visant à diminuer l'impact négatif du secteur des transports sur la qualité de l'air.

Mots-clefs : *répartition des sources, suivi de la qualité de l'air, gestion de la qualité de l'air*

1. Introduction

Hyderabad is the state capital of Andhra Pradesh, India, on the Deccan Plateau covering ~625 Sq. km, at 541 meters above sea level. It is the fifth largest city in India, with a population nearing 7 million and is the fastest growing city in India (9 percent growth per year). Hyderabad has a population density of ~17,000 persons per sq. km and is a major high-tech center that is undergoing a rapid rate of urbanization coupled with increased economic activity. This boom has encouraged in-migration on a massive scale, which has led to an increase of personal, public, and para (3 and 6 seater) transit vehicles (~600 new vehicles added to the fleet per day), and an increasing burden on the city's infrastructure. The increase in motorization and industrial emissions has resulted in declining ambient air quality and a growing incidence of morbidity and mortality attributable to air pollution (HEI, 2004, APPCB, 2006, and IES, 2007).

In light of these air quality impacts, in August 2003, the Supreme Court of India directed various state governments including Andhra Pradesh in which Hyderabad is located to prepare action plans for lowering the levels of air pollution in their cities and submit the plans before the Environmental Pollution (Prevention and Control) Authority. One of the action points of the directive was to conduct particulate pollution source apportionment studies. In Hyderabad, the Andhra Pradesh Pollution Control Board (APPCB) sponsored and conducted a source apportionment study for a period of one year, coupled with an estimation of primary emissions and their impacts on human health to support the action plan submitted to the Government of India. In this paper we present the results of the source apportionment study for PM_{10} and $PM_{2.5}$. We also present a number of recommended options that can be implemented to improve air quality in Hyderabad.

2. Air Quality in Hyderabad

The APPCB operates 20 monitoring stations in Hyderabad oriented in a circular grid with Punjagutta station as the center (Figure 1). Since 2004, the average urban PM_{10} has increased 25 percent, from 92 to 116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, with hot spots around transport and industrial junctions as high as 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The large increase in the observed concentrations is attributed to growing vehicular activity in the city. The in-use vehicular population grew from 1.45 million vehicles in 2001 to 2.0 million vehicles in 2007. The divide between the petrol and diesel based vehicles is closing, with diesel fueled vehicles increasing at double the growth rate of petrol fueled vehicles. A lack of infrastructure to manage this increase is leading to congestion problems and consequently lesser fuel efficiency and higher emissions – directly from vehicles and indirectly due to the resuspension of fugitive dust on roads.

In 1999, an ordinance was passed to replace petrol based 3-wheelers with liquefied petroleum fuel (LPG), which resulted in a significant reduction in the PM pollution over the period of four years, decreasing from 128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in 1999 to 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in 2002. However, recently a much higher growth rate in the passenger cars (petrol and diesel) has nullified the impact of this conversion. Currently, 40 percent of the 3-wheeler fleet is LPG based and city authorities expect 100 percent LPG conversion by 2010.

3. Methodology

In order to determine the sources of elevated PM in Hyderabad, a one year source apportionment study was conducted and covered three seasons between November 2005 and December 2006. Phase 1 (November 12th 2005 to December 1st 2005) was classified as the winter season, Phase 2 (May 9th to June 9th 2006) as the summer season, and Phase 3 (October 27th to November 18th 2006) as the rainy season. Sampling locations, methodologies, and receptor modeling results are briefly presented in the sections that follow. Additional details are contained in IES (2007).

3.1. Sampling Sites

Three sampling sites presented in Figure 1 were selected for this study.

- **Punjagutta (PG)** is an urban residential/commercial/transport site. This location is also a major transit point in the center of the city to major residential areas and industrial development areas in the north.
- **Chikkadpally (CKP)** is an urban residential/commercial site with significant traffic to the east. Sampling site is close to the road and is lined on either side with shops and commercial enterprises, small scale industries using coal and oil, and constant traffic because of its proximity to twenty cinemas.
- **Hyderabad Central University (HCU)** is a background upwind sampling location, 20 km from the city center and on the old Hyderabad-Mumbai highway. It stretches over 2300 acres of land, with a sprawling, scenic and serene campus.

3.2. Sampling and Analytical Methods

Aerosol samples were collected using twelve Airmetrics MiniVol™ portable air samplers operating at 5 liters per minute for 24 hour sampling periods. Pairs of Teflon/quartz fiber filters were used to collect aerosol samples for PM₁₀ and PM_{2.5} (total four samples per site) every two days.

Samples were subjected to mass measurements using a gravimetric method, ion chromatography for chloride, nitrate, and sulfate ions, colorimetry for ammonium,

atomic absorption for Na, K, Ca, and Mg metals, X-ray fluorescence for the rest of the metals, and thermal optical reflectance for organic and elemental carbon.

Receptor Modeling Methodology

Chemical analysis of the samples was followed by receptor modeling using the Chemical Mass Balance (CMB) model version 8.2 (Watson et al., 1997 and Coulter, 2004). The CMB 8.2 model is a Windows-based and includes menu-driven operation, requires speciated profiles of potentially contributing sources and the corresponding ambient data from analyzed samples collected at a single receptor site. In Hyderabad, no sampling was conducted for developing local specific source profiles. In the absence of local source profiles, profiles from the DRI profile library were selected. Although several profiles for each source type were modeled, only those that provided reasonable statistics for all three sites and both size fractions were retained.

4. Results and Discussion

4.1. Mass

The mass concentrations of PM from the three sampling periods are summarized in Table 1. Punjagutta had the highest average for PM₁₀ (160 µg/m³) as well as PM_{2.5} (86 µg/m³). The PM₁₀ concentrations exceeded the Indian ambient air quality standards prescribed for commercial and residential areas (100 µg/m³) during most intensive measurement periods. HCU also exceeded the standards prescribed for sensitive locations (60 µg/m³). The higher PM concentrations are generally attributed to vehicles and resuspended dust, especially for the traffic junctions of Punjagutta and Chikkadpally.

The mass concentrations were higher in the winter and the summer seasons. The concentrations in the summer season were initially high followed by a sudden drop at the end of the sampling period due to an early onset of monsoon rains. In the rainy season, there is a progressive increase of the ambient concentrations at the end of the sampling period, attributed to the gradual change in season from rainy to winter. The ratio of PM_{2.5}/PM₁₀ is high at 50 percent in winter compared to 40 percent in the summer and rainy seasons. Poor dispersion in the winter season followed by inversions and photochemical smog are the primary reasons for the increase in fine fractions in winter season.

4.2. Source Apportionment

The sources of the sampled PM were determined using the CMB model following the analysis of the collected filter samples. A summary of the CMB results is presented in Table 2 for PM₁₀ and PM_{2.5}. The results indicate that, on average, more than half of all the observed PM in Hyderabad can be attributed to vehicular activity (vehicles + road dust).

The results presented in Table 2 are an average of the three stations, along with an average for all sampling sites. Complete results are contained in IES (2007). The most important source measured throughout the sampling campaign was mobile sources, varying from 38 percent to 58 percent for PM_{10} , and 38 percent to 68 percent for $PM_{2.5}$. The fugitive dust (included soil dust, wear and tear from tires, and construction dust) is the second largest source of PM_{10} , varying between 19 percent and 44 percent, and between 5 percent and 26 percent in $PM_{2.5}$. Biomass burning and ammonium sulfate also contributed significantly at the three sites, with ammonium nitrate always present at approximately 2 to 5 percent. Coal combustion varied between 0 percent and 36 percent, showing large uncertainties and incidences of long range transport of industrial sources outside the city center. This is also attributed to local coal combustion sources such as cooking at Chikkadpally and Punjagutta. Note, this source is minimal at HCU. $PM_{2.5}$.

Figure 2 presents the seasonal results for one site, Chikkadpally. The largest contributor to the observed PM_{10} was mobile sources, with contributions ranging from 41 to 49%. Road dust was also a major source, comprising 29 to 41% of the PM_{10} . It is interesting to note that road dust made up 35% of the total during the rainy season, this result in terms of absolute mass was the lowest for all periods. In terms of $PM_{2.5}$, vehicles remained the largest contributor, with a reduced contribution from road dust. The summer season exhibited a large increase in the contribution from coal combustion, indicative of long range transport of industrial emissions.

The three sites had similar trends in the variability of the source apportionment results. Results of the winter PM_{10} apportionments for the three sites are shown in Figure 3. As with the averages presented in Table 2, vehicles were the largest contributor (49 to 58%), followed by road dust (19 to 30%). The contribution from coal combustion did not appear for HCU during the winter. As seen in Figure 1, this site is not near the major local industrial areas, which would minimize the impact from this source. For $PM_{2.5}$, mobile sources are still the dominant contributor; however, the impact of coal combustion and secondary species, along with the decrease in the contribution from road dust is observed.

5. Recommendations

Based on the results of the source apportionment study, the majority of both PM_{10} and $PM_{2.5}$ is due to mobile source activity (tailpipe emissions + resuspended road dust). Thus in order to improve ambient air quality, most of the efforts need to be directed at controlling vehicular emissions. Recommended strategies include:

- Conversion of buses and auto rickshaws from diesel to alternate fuels (natural gas, biodiesel). Currently ~45% of the auto rickshaws have been converted to natural gas.

- Increase public transport use from 40% to 60%. This would require a 30% increase in the number of buses plus the implementation of a light rail system.
- Introduce new emissions standards for cars.
- Vehicle inspection and registration program to facilitate compliance with emissions standards.
- Phasing out old vehicles (>15 yrs.), particularly heavy goods carriers.
- Improve road maintenance and traffic management. This would include street sweeping, making sure all lanes are available for traffic, improving traffic flow, and building more flyovers to reduce congestion at intersections.

6. Conclusion

In order to address the issue of elevated pollutant levels in Hyderabad, India, a series of intensive monitoring campaigns were undertaken over a one year period in 2005-2006 at three locations (residential/commercial, mobile source dominated and upwind/background). PM₁₀ and PM_{2.5} filter samples were collected using low-volume samplers on a 24-hour basis. The collected samples were analyzed for mass, ions, trace metals, and organic and elemental carbon and the chemical mass balance (CMB) receptor model was used to determine the nature and magnitude of the sources contributing to the elevated levels of PM. All sampling locations exhibited elevated levels of both PM₁₀ and PM_{2.5}, with a maximum of 160 µg/m³ PM₁₀ and 86 µg/m³ PM_{2.5}, both at Punjagutta. Motor vehicles were the major source of the observed PM, contributing approximately 50% to both PM₁₀ and PM_{2.5}. The next greatest source was resuspended soil. Much of this is likely to originate from re-entrainment of paved and unpaved road dust by motor vehicles. Other major contributors include industrial emissions, biomass and agricultural burning, and secondary pollutants (ammonium sulfate and nitrate). Based on this work, we can find that residents of Hyderabad are exposed to unhealthy levels of PM, with motor vehicles being the major source of the problem.

Acknowledgments

We would like to acknowledge the contributions of Drs. Johann Engelbrecht and Judy Chow (DRI), Dr. Katherine Sibold (US EPA), Ms. Monisha Shah (NREL), and Mr. Dasari Prasad and the staff of the APPCB. This study was supported by the Integrated Environmental Strategies program in collaboration with APPCB, US National Renewable Energy Laboratory, and the US Environmental Protection Agency.

References

- 1- APPCB, 2006: Analysis of air pollution and health impacts in Hyderabad. APPCB report submitted to Burelal Committee, Govt. of India, India.
- 2- Coulter, C.T., 2004 : Chemical Mass Balance Receptor Model version 8: User's Manual. DRI report prepared for USEPA, Research Triangle Park, NC.
- 3- HEI, 2004: Health Effects of Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia: A Literature Review, Health Effects Institute, Boston, USA.
- 4- IES, 2007: Particulate pollution source apportionment: A case study on Hyderabad, India. Integrated Environmental Strategies India program, USEPA, Washington DC, USA.
- 5- Watson, et al., 1997. Chemical Mass Balance Receptor Model version 8: User's Manual. DRI report prepared for USEPA, Research Triangle Park, NC.

Table 1: Measured Mass concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} during the sampling period.

S.No	Station name	PM ₁₀ (µg/m ³)			PM _{2.5} (µg/m ³)		
		Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average
Phase 1 (Summer)	Punjagutta	188	127	160	99	69	86
	Chikkadpally	163	110	134	84	57	69
	HCU	123	94	106	71	46	56
Phase 2 (Winter)	Punjagutta	218	28	111	87	13	47
	Chikkadpally	261	45	113	111	16	43
	HCU	105	14	64	75	6	26
Phase 3 (Rainy)	Punjagutta	193	56	122	136	36	66
	Chikkadpally	130	34	86	121	23	54
	HCU	100	23	59	61	15	40

Table 2: Contribution of various sources by location.

	PM10				PM2.5			
	Punjagutta	Chikkadpally	HCU	Average	Punjagutta	Chikkadpally	HCU	Average
Vehicles	54%	46%	44%	48%	49%	48%	51%	49%
Road Dust	27%	36%	37%	33%	8%	9%	16%	11%
Industries	7%	8%	2%	6%	23%	21%	5%	16%
Biomass Burning	5%	4%	5%	5%	8%	8%	8%	8%
Secondary PM	7%	7%	12%	9%	12%	14%	20%	15%

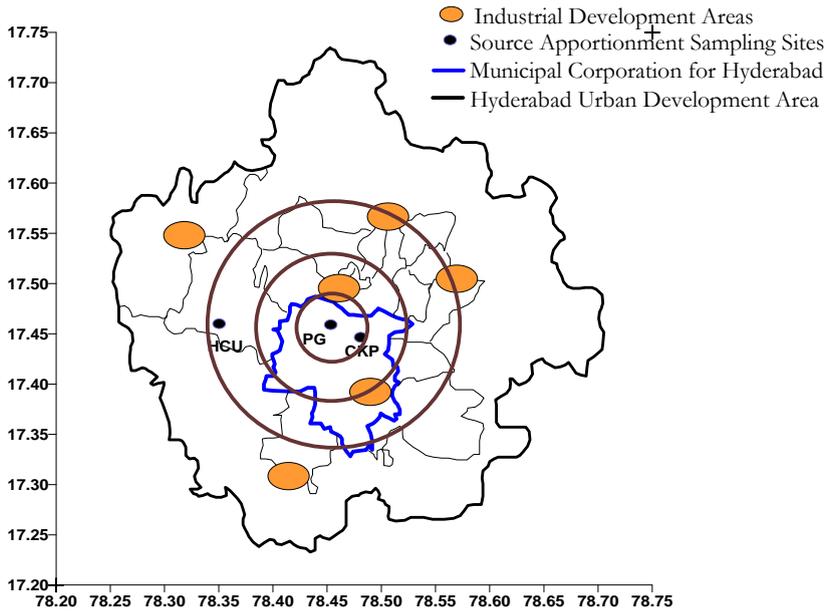


Figure 1: Geographical location of Hyderabad Urban Development Area (HUDA) and major industrial development areas (IDAs). Monitoring sites for the source apportionment study were located at Hyderabad Central University (HCU), Punjagutta (PG), and Chikkadpally (CKP).

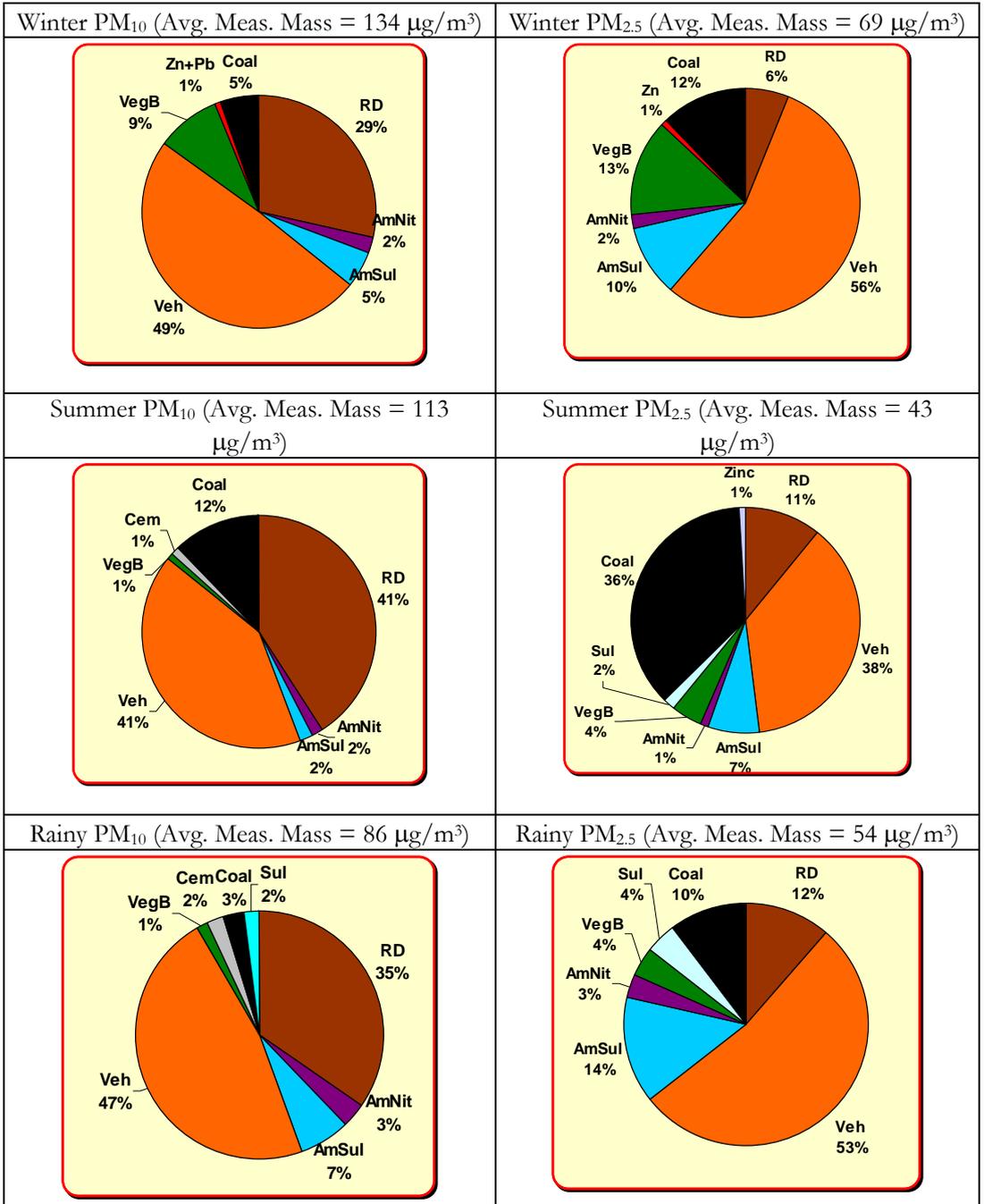


Figure 2: Source apportionment results for three intensive measurement periods at Chikkadpally.

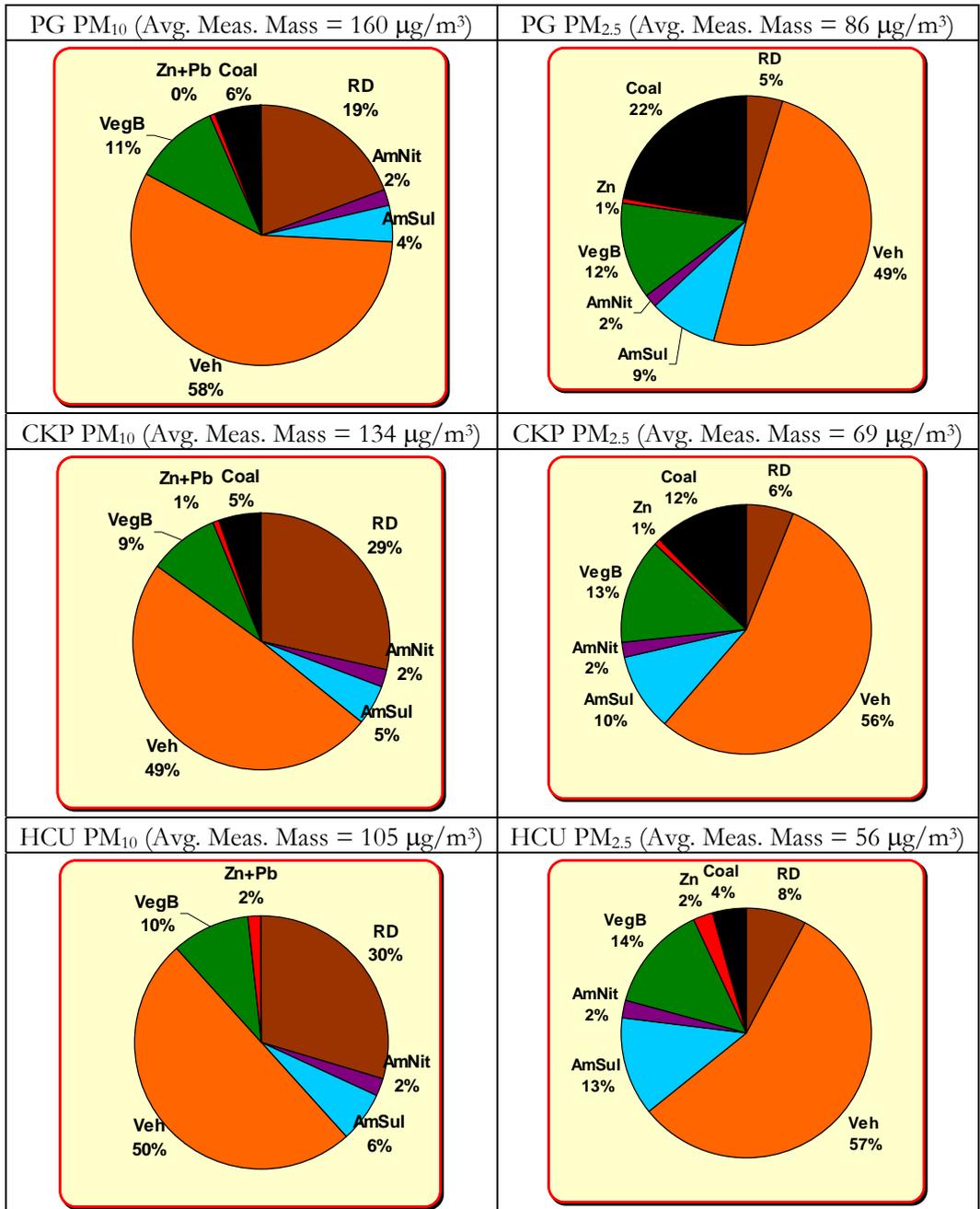


Figure 3: Source apportionment results for the winter intensive measurement periods for the three monitoring locations.

Mesure des concentrations de polluants émis par le transport automobile dans l'habitacle d'un véhicule inséré dans le trafic routier

Jean-Paul Morin *, Frantz Gouriou **, David Preterre **, Véronique Delmas *** & Michel Bobbia ***

* INSERM U644, 22 Bd Gambetta 76183 Rouen, France -

Fax +33 (0)2 35 14 83 65 - email : jean-paul.morin@univ-rouen.fr

** CERTAM, 1 rue J. Fourier, Technopôle du Madrillet, 76800 Saint-Etienne-du-Rouvray, France

*** Air Normand, 3 place de la pomme d'or, 76000 Rouen, France

Abstract

Measuring concentrations of pollutants emitted by motor transport in the passenger compartment of a vehicle into traffic.

This work help characterize people exposure on air pollutants during their journey in cars. Data analysed so far shows that pollutant in passenger car is likely to represent a major contribution to the space-time exposure budget.

The repeated measures over two classic courses (50 trips in Rouen and 6 in Paris area), including a wide variety of traffic situations, coupled with a continuous satellite locating system, makes it possible to reconstruct exposure scenarios (time-concentration). More than 5000 km travelled have been continuous recordings of pollutants into the air entering the passenger: particles (number, size and weight), nitrogen oxides (NO_x, NO, NO₂).

The average concentrations of pollutants (200 to 250 µg/m³ of NO₂, 150 to 200 µg/m³ of PM₁) observed show high exposure of passengers in a vehicle into traffic that can not be estimated by the type of measures currently undertaken in the vicinity of traffic or in urban background. Much higher concentrations were recorded in tunnels.

The dynamics of pollutants concentrations entering the passenger compartment is very high, closely involved with the typology and the proximity to the vehicle in the wake of which is the laboratory vehicle. As background data are generally only taken into account as input for the calculations of exposure for epidemiological studies, it probably leads to an underestimation of exposure to pollutants examined.

Despite major technological advances made by manufacturers in recent years to reduce emissions from vehicles, automobiles remain a great source contributing to air pollution.

A database was established whose computer access will be open on reasoned request to the coordinator to conduct studies on specific issues (like e.g. modelling of population exposure in the traffic, improving the dispersion wake of the vehicle, design and implementation of pollution control systems of air in the passenger vehicles, impact of road infrastructure on the dispersion of pollutants, etc.).

Keys-words: *On board measures, passenger exposure, traffic, NO₂, particles, black smoke.*

1. Introduction

L'INSERM U644 (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) de Rouen, le CERTAM (Centre d'Etude et de Recherche Technologique en Aérothermique et Moteur) et Air Normand (Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air) ont réalisé une étude préliminaire de mesures de polluants particuliers dans un habitacle automobile inséré dans le trafic qui montre que la concentration de polluants d'origine automobile s'avère plus importante dans le sillage des véhicules que sur le bord de la route. Ce phénomène, imputable à une moindre dispersion des polluants en sillage proche, est connu et a pu, notamment, être modélisé lors d'un travail de thèse sur le corps d'Ahmed (Kevin Gosse 2005). La disponibilité de telles données incluant une bonne dynamique temporelle des concentrations de polluants étant extrêmement limitée et pouvant servir de base expologique pour une meilleure définition de budgets espace-temps d'exposition pour les études épidémiologiques, l'AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) a souhaité que soit entreprise une étude systématique permettant de produire des données statistiquement fiables et représentatives de l'exposition des populations dans les véhicules.

Le but de l'étude est ainsi de quantifier précisément les concentrations entrantes dans les habitacles et de les comparer aux réglementations en vigueur afin de préciser les budgets espace-temps d'exposition des professionnels de la route ainsi que des automobilistes en général.

2. Matériel et Méthode

La campagne de mesure a été réalisée par une équipe du CERTAM. Les appareils de mesure des polluants gazeux et particuliers représentatifs des émissions automobiles ont été installés à bord d'un véhicule utilitaire léger et des mesures statistiques ont été réalisées durant 2 mois (début mai à début juillet 2007) sur un parcours type de 72 km répété 50 fois dans l'agglomération rouennaise, ainsi que sur un parcours d'une distance de 200 km répété six fois en Ile de France.

Afin de réaliser une étude représentative des topologies de routes empruntées par les automobilistes, nous avons balayé différents types d'axes routiers : urbain (centre ville), péri urbain (rocares, périphériques), autoroute, tunnel, voies rapides

urbaines. Nous avons sélectionné un parcours sur la ville de Rouen en combinant chaque type de parcours proportionnellement par rapport aux trajets de travail des automobilistes. Le parcours a été réalisé le matin de 8h à 10h et l'après-midi de 14 h à 16 h environ.

Sur les graphiques, les types de trajet sont notés A pour Autoroute, P pour Péri urbain, T pour Tunnel, U pour Urbain et VU pour Voie Rapide Urbaine – avec un M pour un trajet montant, et un D pour un trajet descendant.

2.1. Véhicule laboratoire

Les appareils de mesure furent embarqués à l'arrière d'un véhicule utilitaire, l'alimentation électrique de l'ensemble étant assurée par un groupe électrogène installé dans une remorque (figure 1a). Tous ces appareils prélèvent au niveau des entrées d'air dans le véhicule (bouches d'aération) (figure 1b). Le débit de pompage, les diamètres et longueurs de tuyaux ont été pris en compte afin d'optimiser un temps de transit de l'aérosol le plus similaire possible pour chaque appareil. Une climatisation a permis de préserver les appareils à leur température optimale de fonctionnement (figure 1c). Afin de permettre une exploitation automatisée des résultats, un GPS a été utilisé, enregistrant les coordonnées du véhicule toutes les 2 secondes, permettant de connaître ainsi avec précision la vitesse de déplacement du véhicule (bouchons, trafic fluide) et de connaître avec précision les heures d'entrée et de sortie de chacun des tronçons délimités. Enfin, une caméra a enregistré des images avec une fréquence de 1 Hertz qui ont permis par la suite de comprendre les origines de variations importantes de concentrations de polluants et ainsi d'identifier la source d'une émission particulière. Pour garantir le bon fonctionnement de l'ensemble, un copilote suivait en temps réel l'évolution des appareils sur un PC de contrôle (figure 1d).

2.2. Polluants et appareils de mesure

NO et NO_x sont mesurés en continu par chimiluminescence. Pour les mesures embarquées, nous avons utilisé un analyseur de combustion, le Topaze T32M adapté par la société Environnement SA pour les mesures environnementales. Cet appareil est principalement utilisé comme analyseur dynamique des émissions de combustion et tout particulièrement pour la métrologie sur les échappements moteur (gamme de mesure 10, 100, 1000 et 10 000 ppm) mais il a été réadapté pour notre étude par la société Environnement SA sur des gammes de mesure 5, 50, 500 et 5 000 ; la gamme utilisée lors de l'étude étant 0-5 ppm. L'avantage de cet appareil est qu'il permet de suivre des dynamiques d'évolution des concentrations en NO_x. L'architecture de cet appareil est basée sur deux voies de prélèvement parallèles et deux photomultiplicateurs permettant une mesure synchrone du NO et des NO_x (voie avec four de réduction au molybdène permettant la réduction de NO₂ en NO), la concentration de NO₂ étant obtenue par la différence NO_x-NO. La dynamique et la résolution des mesures est de 1

seconde. Cet appareil s'est révélé très intéressant au plan de l'appréhension de la dynamique des concentrations de NO et de NO₂ dans les sillages automobiles.

Pour cette étude, les mesures particulières en embarqué ont été réalisées avec un impacteur électrostatique basse pression (ELPI) ainsi qu'un matériel de mesures de fumées noires intégrant sa mesure sur la durée du parcours. Contrairement à d'autres matériels tels que le SMPS, le TEOM ou le Partisol qui ne supportent pas les vibrations générées par le déplacement du véhicule, l'ELPI s'est avéré adapté à cette expérimentation ; de plus son temps de réponse et sa sensibilité se sont révélés tout à fait adaptés à la gamme et à la dynamique des concentrations observées. Le granulomètre ELPI permet de mesurer la concentration particulaire d'un aérosol par classe de taille. Le spectre couvert peut être modulé selon la configuration de mesure de 20 nm à 10 µm. L'ELPI a été utilisé avec des plateaux poreux et avec un étage de filtration, configuration standard pour la mesure des particules submicroniques et de combustion (la principale source d'émission dans notre cas étant les automobiles nous précédant). L'acquisition se faisait toutes les 1s. Parallèlement au comptage de particules effectué par l'ELPI, nous avons effectué une approche de la masse de particules par l'évaluation des courants totaux déposés sur les plateaux de l'ELPI (La concentration particulaire est calculée à partir de la mesure de la charge électrique portée par les particules).

3. Résultats

Durant les périodes de mesures embarquées, la station urbaine de fond d'Air Normand a enregistré des concentrations moyennes quart horaires allant de 10 à 50 µg/m³ ; dans le même temps, la station de proximité du trafic automobile fournissait des concentrations de 30 à 120 µg/m³ en moyenne quart horaire. Ces valeurs sont données à titre de comparaison avec les résultats présentés ci-après.

3.1. Monoxyde d'azote (NO)

Alors que sur la grande majorité des tronçons, les niveaux moyens sont de l'ordre de 300 µg/m³, il est intéressant de noter que ces niveaux moyens s'élèvent sur les tronçons en pente parcourus dans le sens montant, en relation avec la demande de puissance motrice, à des concentrations supérieures ou égales à 500 µg/m³, avec un niveau maximal > 1500 µg/m³ dans le tunnel montant en raison du confinement associé à une forte demande de puissance motrice pour parcourir ce segment.

3.2. Dioxyde d'azote (NO₂)

La figure 2a montre une relative homogénéité des concentrations moyennes de NO₂ par tronçon parcouru, de 200 à 300 µg/m³, en dehors du tronçon du tunnel montant sous la Grand Mare où la concentration moyenne dépasse 400 µg/m³ en raison du confinement.

Pour mémoire, il est rappelé qu'une concentration de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire correspond à la valeur guide recommandée par l'OMS. Le fait de passer une heure dans son véhicule inséré dans le trafic correspond donc en moyenne à une heure de dépassement de cette valeur seuil.

Dans la figure 2b, nous rapportons la quantité de polluant inhalée par km de tronçon parcouru sur la base d'un débit ventilatoire classique de $0,45 \text{ m}^3$ par heure, selon la formule

$$Q_{\text{km}} = \text{concentration moyenne } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{durée (min)} * 0,45 / (60 * \text{longueur du tronçon (km)})$$

On peut voir qu'il existe essentiellement deux groupes de tronçons, qui pourraient être caractérisés comme extra-urbains à circulation rapide (A13, A15, A28, RocadeM, Sud3) pour lesquels l'exposition par km apparaît relativement faible ($< 2 \mu\text{g}/\text{km}$) et les tronçons urbains et confinés pour lesquels les expositions atteignent des valeurs comprises entre 5 et $12 \mu\text{g}/\text{km}$. Il est intéressant de rapprocher ces données des données d'émissions de véhicules Diesel récents sur cycles ARTEMIS publiées par l'AECC, qui montrent que les émissions de NO_2 en portion urbaine exprimées en mg/km sont globalement deux à quatre fois plus élevées que les émissions de NO_2 en portion extra-urbaine ou autoroutière du cycle, ce phénomène étant d'autant plus marqué que les véhicules correspondent aux normes les plus récentes.

Ces données démontrent bien que la problématique des immissions de NO_2 est une problématique urbaine plus que routière et que le facteur de surémission du NO_2 en milieu urbain, couplé à une moindre vitesse moyenne ont tendance à s'additionner.

3.3. Particules (PM1) en nombre

La figure 3a montre que pour la majorité des tronçons, le nombre de particules mesurées est inférieure à $40000 /\text{cm}^3$. Les valeurs les plus importantes ont été observées sur les tronçons parcourus dans le sens montant A15M, et Tunnel montant sous la Grand Mare, avec des valeurs dépassant les $200\,000$ particules/ cm^3 . La teneur en particules paraît d'une part être liée à la demande de puissance moteur mais aussi à la nature des véhicules rencontrés sur le tronçon emprunté. La présence de nombreux poids lourds sur l'A15M et dans le tunnel montant sous la Grand Mare paraît être un déterminant important du nombre de particules observé sur ces tronçons.

Le nombre moyen de particules inhalées par tronçon est de l'ordre de 1 à 4 milliards, et représente un nombre important. Ces particules sont en nombre à plus de 95% d'une taille inférieure à 200 nm et constituent donc un aérosol ultra-fin fortement inhalable, et susceptible de déposer dans les zones les plus profondes de l'appareil respiratoire.

La figure 3b montre que les immissions de particules inhalées sont comprises entre 0,1 et 2 milliards de particules par km parcouru. Pour certains cas extrêmes, des valeurs de 1,5 milliard de particules ont pu être observées, particulièrement dans les tronçons confinés tels que le tunnel sous la Grand Mare.

3.4. Particules (PM1) en masse

Les valeurs moyennes par tronçons sont généralement comprises entre 100 et 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui représente des concentrations particulièrement élevées par rapport à celles susceptibles d'être mesurées par les stations de proximité du trafic. Des concentrations massiques proches de 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été observées sur les tronçons A15 montant et Tunnel montant qui sont les deux axes les plus chargés en trafic poids lourd et en pente montante demandant une puissance importante.

L'exposition aux particules en masse par km parcouru est beaucoup plus importante pour les tronçons urbains parcourus à vitesse modérée que pour les tronçons routiers parcourus à vitesse moyenne plus élevée. Cette notion sera intéressante à prendre en compte lors d'éventuelles estimations des expositions de travailleurs insérés dans le trafic automobile tels que chauffeurs de taxis ou chauffeurs routiers par exemple.

3.5. Fumées noires

Les mesures de fumées noires, compte tenu de la durée nécessaire de prélèvement ne sont obtenues que pour la durée totale du parcours et ne peuvent donc pas être rapportées par tronçon. Les résultats montrent un ratio embarqué/proximité du trafic proche de 4 significatif (les prélèvements en embarqué et sur la station trafic ont été effectués aux mêmes heures et sur la même durée).

Il est intéressant de noter que sur ce paramètre, les particules émises par les moteurs Diesel (suies noires) sont le principal déterminant de l'évolution de la noirceur du filtre. Les fumées noires apparaissent comme un excellent traceur des émissions du trafic automobile Diesel, beaucoup plus pertinent que la mesure de PM10 ou de PM2.5 susceptible de subir la contribution d'autres sources non issues de la combustion.

4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques présentées ici ont été réalisées afin de tester un éventuel lien entre la nature du tronçon considéré et les concentrations moyennes de polluants sur le tronçon, ainsi qu'entre la fluidité du trafic et les concentrations moyennes de polluants. Deux polluants ont été sélectionnés pour ces études : le dioxyde d'azote et le nombre de particules mesurées par ELPI.

Une Analyse de Variance (ANOVA) a été appliquée à ces mesures. L'ANOVA recouvre un ensemble de tests et d'estimations destiné à apprécier l'effet d'une ou plusieurs variables qualitatives (le type de voie, la fluidité, ...) sur une variable

quantitative (la concentration moyenne du polluant). La variable qualitative susceptible d'influer sur la distribution de la variable quantitative est appelée « facteur » et ses valeurs des « niveaux ». L'objet de l'ANOVA est de tester les hypothèses « H_0 : le facteur n'a pas d'effet, la pollution est en moyenne équivalente dans les différents niveaux du facteur » contre « H_1 : les moyennes du polluant ne sont pas toutes égales dans les différents niveaux du facteur ».

Deux facteurs vont être testés. Si la nature du tronçon (le type de voie) est directement connu, la fluidité se déduit de données numériques. Elle est définie par 4 classes relativement aux tronçons : les quartiles des vitesses moyennes enregistrées au sein d'un même tronçon sont utilisées pour découper l'ensemble des valeurs de ce tronçon en 4 catégories : du plus congestionné (A) au plus fluide (D) – plus le temps est court sur un tronçon donné, et plus la fluidité du trafic est grande ; à l'inverse, plus on passe du temps dans un tronçon, plus la fluidité est faible (congestion du trafic).

3.1. Dioxyde d'azote (NO_2)

Nous commençons par rechercher une éventuelle interaction entre le type de voie et la fluidité : la différence entre les moyennes de NO_2 par tronçon dépend-elle de la fluidité du trafic dans le tronçon ? Une ANOVA à 2 facteurs conduit à accepter l'absence d'une interaction (p -value = 0,72) : les différences liées à l'action d'un des deux facteurs ne dépendent pas de l'autre facteur ; autrement dit, les différences de valeurs entre tronçons ne dépendent pas de la fluidité, et inversement, les différences de valeurs entre les classes de fluidité ne dépendent pas du tronçon. Par exemple, ce n'est pas parce que l'autoroute est plus fluide qu'elle est moins polluée.

Cette ANOVA montre aussi que la concentration moyenne en NO_2 dépend du tronçon dans lequel elle est mesurée (p -value = $4,45 \cdot 10^{-4}$). Malgré tout, un test de comparaison multiple (Tukey) montre que le tunnel montant est le seul tronçon véritablement différent des autres. D'ailleurs, une ANOVA sur les données privées de ce tronçon montre qu'hormis ce tunnel montant, on ne peut pas affirmer que les tronçons soient significativement différents les uns des autres.

Au vu des données, les différences entre les moyennes empiriques observées peuvent raisonnablement être attribuées aux seules fluctuations d'échantillonnage (compte tenu des effectifs et surtout de la variabilité des données). On est donc soumis, à part dans le tunnel montant, grosso modo au même taux moyen de NO_2 quelque soit le tronçon emprunté. La variabilité des données ne peut raisonnablement pas être attribuée au type de voie.

Enfin, l'ANOVA montre que la fluidité n'est pas non plus un facteur qui influence les niveaux moyens de pollution par le NO_2 (p -value = 0,34).

3.2. Particules (PM1) en nombre/cm³

Comme précédemment, le test de l'ANOVA permet d'accepter comme plausible le fait que l'interaction entre les tronçons et la fluidité ne soit pas significative : les différences liées à l'action d'un des deux facteurs ne dépendent pas de l'autre facteur.

Les effets des facteurs sont au contraire largement significatifs ($p\text{-value} < 0,05$). On peut donc considérer que la pollution particulaire moyenne dépend de la rue dans laquelle on se trouve. On retrouve évidemment les tronçons « montants » dans les plus fortes valeurs...

Un test de comparaison multiple (Tukey) sur les moyennes par classe de fluidité permet de montrer que les différences proviennent essentiellement de la classe la moins fluide. La fluidité du trafic a donc un effet sur la pollution particulaire, et ce, quelque soit le type de rue/voie, puisque nous avons vu que c'était indépendant.

5. Etude de quelques situations particulières

5.1. Tunnel

Un profil d'évolution croissante des concentrations de monoxyde d'azote et de dioxyde d'azote est observé au fil de la progression dans le tunnel. Il est noté une plus forte variabilité des concentrations de monoxyde d'azote en relation avec la proximité du sillage de poids lourds. Un profil d'évolution similaire à celui des NO_x est observé pour l'évolution des concentrations massiques de particules mesurées par ELPI.

Nous avons pu constater qu'il y a une forte corrélation entre les concentrations en oxydes d'azote et les concentrations de particules (en nombre et en masse) lorsque l'on se trouve en milieu confiné dans des conditions où la chimie atmosphérique ne peut se produire avec des cinétiques analogues à celles observées en milieux ouverts

5.2. Suivi d'un bus

La figure 4 relate l'évolution des concentrations en oxydes d'azote derrière un autobus urbain récent équipé d'un filtre à particules de technologie CRT (continuous regenerating trap) doté d'un puissant catalyseur d'oxydation. Alors qu'il n'est pas détecté de variation des concentrations particulaires lors du suivi de ce véhicule (entre 10000 et 20000 particules/cm³) démontrant une parfaite efficacité du filtre sur les PM1, il est observé une très forte dynamique des concentrations en oxydes d'azote, avec une prépondérance des émissions de dioxyde d'azote formés par la catalyse d'oxydation. Le suivi du bus a été effectué dans une rue à faible densité de circulation, comme le montre la deuxième partie du tracé après avoir dépassé le bus.

La concentration moyenne de NO₂ a été de 1781 µg/m³ soit près de 2 ppm, la concentration moyenne de NO a été de 575 µg/m³ démontrant un très fort ratio NO₂/NO_x de 0,76 à l'émission de ce véhicule. La concentration maximale observée a été de 13000 µg/m³ soit plus de 6,5 ppm, ce qui démontre la très forte dynamique des concentrations d'oxydes d'azote susceptibles d'être mesurées dans le sillage de certains véhicules de technologie très récente répondant à la norme en vigueur. A la suite du dépassement de ce véhicule et pendant les six minutes suivantes, les concentrations mesurées ont été très largement inférieures : une moyenne de 109 µg/m³ et de 141 µg/m³ ayant été observées pour le NO₂ et le NO respectivement, faisant retomber le ratio NO₂/NO_x à une valeur de 0,43 pour cette portion de parcours.

L'exemple de la figure 4 représente la situation la plus défavorable rencontrée pour le dioxyde d'azote, situation nettement plus défavorable que celle rencontrée en milieux confinés tels que les tunnels.

Nous avons à dessein rapporté cette situation où l'émetteur a pu être parfaitement identifié à partir de la vidéo, permettant ainsi de remonter à la technologie du véhicule, véhicule dit « propre et dépollué » correspondant à la technologie Euro3, actuellement mise en place au niveau de nombreuses agglomérations françaises sur recommandation réglementaire.

Un tel problème a été identifié par David Carslaw sur les équipements de transports en commun de la ville de Londres, ce qui a conduit les autorités à démonter ce type de système de post-traitement des bus londoniens pour limiter leur impact sur l'élévation du NO₂ en proximité du trafic.

6. Conclusion

Cette étude commanditée par l'AFSSET visait à établir la notion d'exposition et de dynamique des concentrations de polluants dans l'habitacle de véhicule inséré dans le trafic. La mesure simultanée de polluants gazeux et particulaires avec un pas de temps à la seconde a permis d'appréhender la dynamique des concentrations, facteur à ce jour peu exploré pour des raisons techniques. De plus, le caractère systématique avec lequel des parcours définis ont été répétés (plus de 5000km parcourus) donne à cette étude une valeur statistique pouvant servir de référence pour la construction de budgets espace temps d'exposition aux polluants atmosphériques pour la population générale ou des professions particulièrement exposées à la proximité des émissions du trafic automobile.

Une base de données interrogeable à distance a été constituée dont l'accès informatique sera ouvert sur demande motivée auprès du coordinateur de l'étude pour la réalisation d'études sur des points particuliers.

Remerciements

Les auteurs remercient l'AFSSET pour son soutien financier.

Références

1. McCreanor J. & all (2007): Respiratory Effects of Exposure to Diesel Traffic in Persons with Asthma. The New England Journal of Medicine, vol 357:23, p 2348-58.
2. Larsson BM. & all (2007): Road tunnel air pollution induces bronchoalveolar inflammation in healthy subjects. European Respiratory Journal, vol 29:4, p 699-705.



Figure 1 : Dispositif de mesure, de gauche à droite : (a) véhicule avec remorque pour l'alimentation, (b) prélèvement dans l'habitacle (c) climatisation et appareils de mesure (d) PC de contrôle et GPS

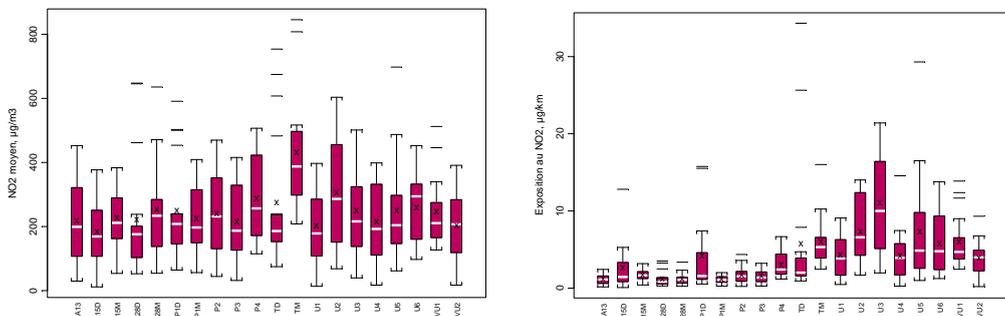


Figure 2 : Dioxyde d'azote (NO_2), de gauche à droite : (a) Concentrations, (b) Exposition

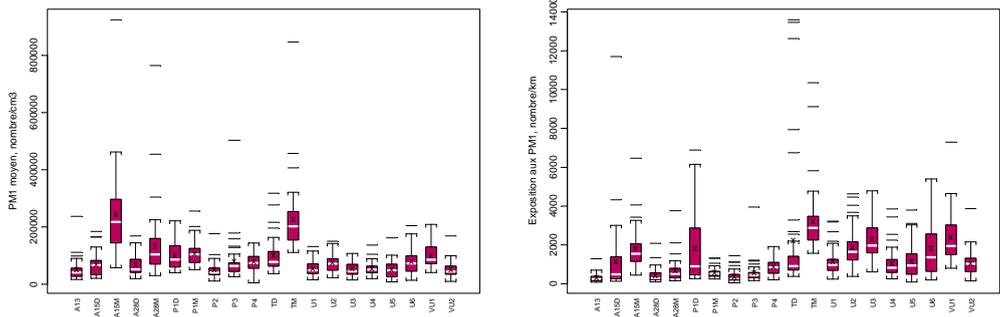


Figure 3 : Particules fines, de gauche à droite : (a) Nombre, (b) Exposition

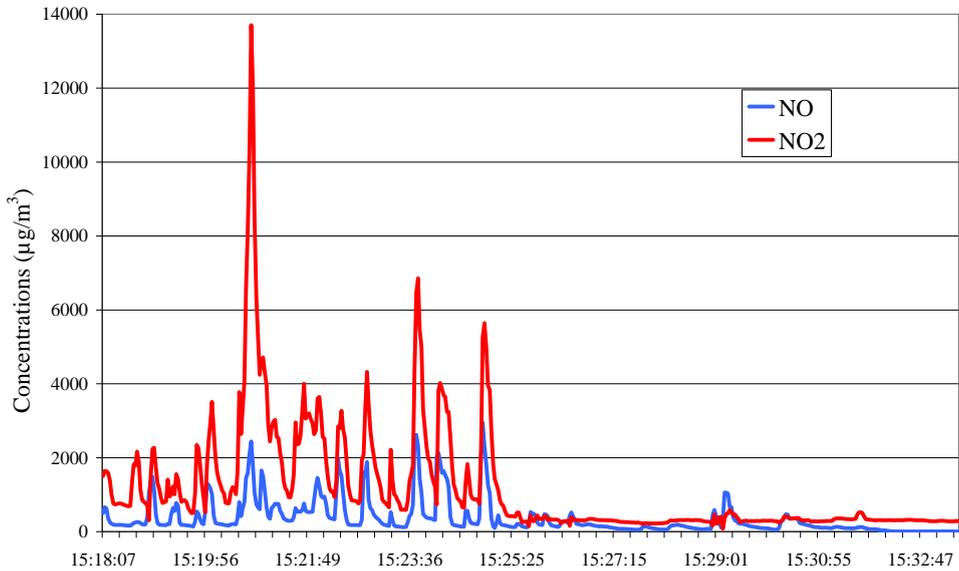


Figure 4 : Evolution des concentrations en oxydes d'azote (NO et NO₂) lors du suivi d'un bus de type Euro3 (FAP catalysé) pendant une durée de six minutes. Le bus a été dépassé à 15h25 le véhicule laboratoire ayant continué à circuler dans la même rue voyant à cet horaire une très faible densité de circulation.

Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger

R. Kerbachi, N. Oucher, A. Bitouche, N. Berkouki, B. Demri, M. Boughedaoui et R. Joumard¹

Laboratoire LSTE, Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, Algérie
Fax +213 21 522973 – email : r_kerbachi@yahoo.fr

¹ INRETS, LTE, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France

Abstract

The study presents the levels of air pollution by fine particulates matters PM-10, PM-2.5 and PM-1 at five different sites in the great Algiers. The results reveals that fines particles rise high levels and exceeds le European and WHO guidelines. The respirable fraction PM-2,5 constitute approximately 60% in mass of the PM-10. It is shown that PM-10 particles follow a bimodal distribution which is characteristics of the urban background.

The size distribution of heavy metals associated to particles depending of the emission source. The lead which is relatively abundant in Algiers is associated to the very fine particles. The study presents also correlations between some parameters.

Key-words: Air pollution, road traffic, PM-10, PM-2,5, PM-1, acid aerosol, lead metals, size distribution, Algiers

1. Introduction :

Les particules fines de différentes classes granulométriques PM-10, PM-2,5 et PM-1 constituent un important facteur de pollution de l'air, particulièrement en milieu urbain où le trafic routier est dense. Sur le plan sanitaire, elles représentent un indicateur majeur de la qualité de l'air (Schroeder et coll., 1987; Jansen et coll., 1997; Chiron et coll., 1997). De nombreuses et cohérentes études leur attribuent une forte responsabilité dans la survenue d'une vaste gamme d'effets biologiques et sanitaires (Dockery et coll., 1993; Pope et coll., 1995). De part leurs caractéristiques physico-chimiques, elles exercent sur le système respiratoire et cardiovasculaire un potentiel de nuisance élevé. Le Commissaire européen à l'environnement, estimait en 2007 que chaque année, 370.000 personnes en Europe meurent prématurément de maladies liées à la pollution de l'air, dont 350.000 d'entre elles à cause des particules respirables les PM-2,5. Aussi, après

les USA et l'OMS, l'Union Européenne étudie la possibilité de rendre plus sévères les normes en vigueur depuis 2000.

En Algérie où l'urbanisation et la motorisation se développent rapidement, la dégradation de la qualité de l'air et les nuisances sont déjà perçues. Des études ont montré que le Grand Alger (3,5 millions d'habitants, 800.000 véhicules) est, comme toute grande agglomération urbaine, confronté à une intense pollution atmosphérique (Boughedaoui et coll. 2004 ; Kerbachi et coll. 2006a et 2006b). La principale source d'émission est le trafic routier. La pollution par les particules fines n'a cependant pas fait l'objet d'une attention particulière.

Aussi et afin d'avoir des données précises sur les niveaux et types de pollution et pour arriver à formuler une stratégie de prévention, nous avons de 2002 à 2007 effectué une vaste étude sur la contamination de l'atmosphère par les PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁ en différents types de sites dans l'agglomération d'Alger. Les métaux lourds associés à ces particules et leur contribution à la pollution globale ont été également étudiés.

2. Méthodologie :

L'étude a été réalisée au niveau de cinq sites: deux sites urbains U1 et U2 qui permettent d'évaluer les taux d'exposition de la population citadine à la pollution, un site de proximité de type station trafic P (site sous influence directe des émissions automobiles) et deux sites péri-urbains PU1 et PU2 situés à la limite du tissu urbain d'Alger (figure 1) :

U1 : le poste de mesure est situé au niveau de la cité universitaire de Bab-Ezzouar à environ 15 Km au sud-est d'Alger-Centre. Ce site est considéré comme étant un site urbain à forte densité de population résidente (45000 hab./Km²).

U2 : le poste est implanté à l'intérieur de l'hôpital C.H.U. Mustapha Bacha au centre d'Alger. Ce poste qui donne sur la baie d'Alger fait l'objet d'une très bonne ventilation naturelle

P : Le poste de prélèvement est implanté à l'Ecole Nationale Polytechnique (ENP) située au sud-est à environ 10 Km du centre d'Alger et directement (à 8 m) au bord de la RN5. Cet important axe routier est fréquenté par plus de 25000 véhicules/jour dont environ 15% de bus et véhicules lourds diesel. Ce site est également exposé à une bonne ventilation naturelle.

PU1 : Ce site péri-urbain est localisé dans la commune de Dely-Brahim (Sud d'Alger) au niveau de l'Institut ISMAL

PU2 : Le site est implanté à la limite de Bouzaréah au niveau du centre CDER qui est le point le plus élevé d'Alger. Ce site bien ventilé ne subit pas l'influence d'émissions directes de particules.



Figure 1 : Localisation des sites de mesure dans l'agglomération d'Alger

En ces différents sites, l'échantillonnage est effectué à une hauteur de 4 à 12 m du sol.

Pour les prélèvements par classe granulométrique, un échantillonneur à fort débit, le HVS-PM-10 équipé d'un cascadeur Sierra à 4 étages ($< 1\mu\text{m}$, $1-1,5\mu\text{m}$, $1,5-3\mu\text{m}$, $3-7,2\mu\text{m}$ et $7,2-10\mu\text{m}$) a été utilisé (débit $1\text{ m}^3/\text{min}$). La durée de prélèvement est de 24H.

Pour les sites urbains et de proximité, le suivi est réalisé sur une année à raison de deux à trois prélèvements journaliers par semaine. Pour les sites péri-urbains, il s'est fait sur six mois.

Après minéralisation acide des filtres des particules collectées, les métaux lourds Fe, Pb, Mn, Cu et Cd, sont analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique.

3. Résultats et discussion

3.1. Étude et ampleur de la pollution par les particules fines

Les résultats obtenus montrent que dans tous les sites les teneurs journalières varient dans une large fourchette. A titre d'exemple, nous présentons en figure N°2 l'évolution journalière des PM-10, PM-3 et PM-1 mesurées au site de proximité P en 2003.

Cette variation journalière est due, d'une part aux changements dans l'intensité des sources émettrices (trafic routier), et d'autre part aux influences météorologiques (vent, pluie, etc.). En ce site, les teneurs moyennes annuelles des particules inhalables PM-10, des particules respirables PM-2,5 et des particules très fines PM-1 s'élèvent respectivement à $80,9\mu\text{g}/\text{m}^3$, $43,1\mu\text{g}/\text{m}^3$ et $27,7\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour l'ensemble des sites étudiés, les teneurs moyennes des trois classes granulométriques PM-10, PM-3 et PM-1 sont résumées en Tableau 1.

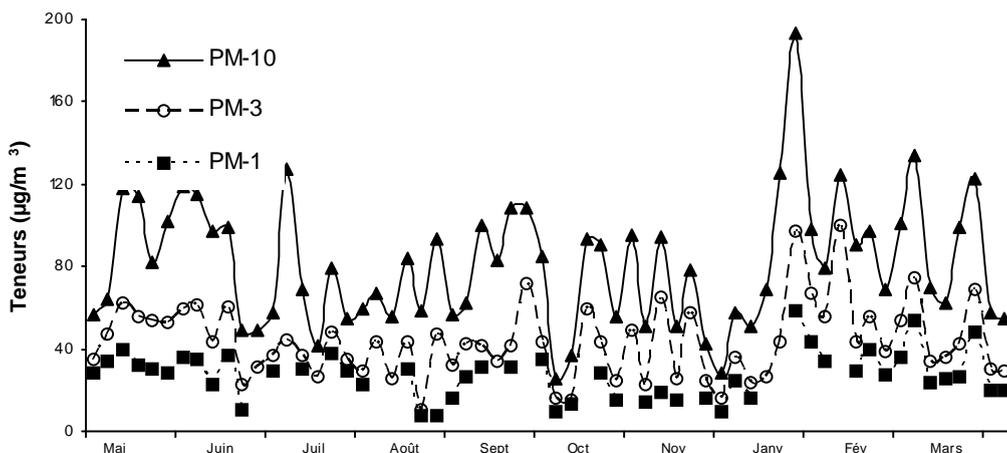


Figure 2: Évolution des teneurs en PM-10, PM-3 et PM-1 mesurées à Alger

Tableau 1: Teneurs atmosphériques en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM-i mesurées à Alger

Sites	PM-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rapport PM-1/PM-10	Rapport PM-3/PM-10
P	27,1	43,3	80,4	0,34	0,54
U1	22,2	35,6	69,3	0,32	0,51
U2	18	28,1	48	0,37	0,58
PU1	13,1	18,3	27	0,48	0,67
PU2	10,4	20	30	0,35	0,66

Il en résulte que les teneurs atmosphériques des PM-i sont en site de proximité (sous influence direct des émissions automobiles) les plus élevées. Les teneurs les plus basses sont mesurées en sites péri-urbains. Ces derniers sont en moyenne deux fois plus faibles qu'en milieu urbain.

Les rapports PM-1/PM-10 et PM-3/PM-10 qui donnent la contribution massique des particules fines au PM-10 sont similaires pour tous les sites et montrent que dans les PM-10, les particules très fines sont prédominantes. Les PM-1 très nocives constituent plus du tiers des PM-10 et les PM-3 plus de la moitié. La figure 3 illustre la contribution massique moyenne aux PM-10 des différentes fractions granulométriques mesurées en milieu urbain.

La fraction alvéolaire PM-2,5 que les normes prennent en considération, n'est pas accessible expérimentalement par notre échantillonneur. Elle est déterminée graphiquement à partir des

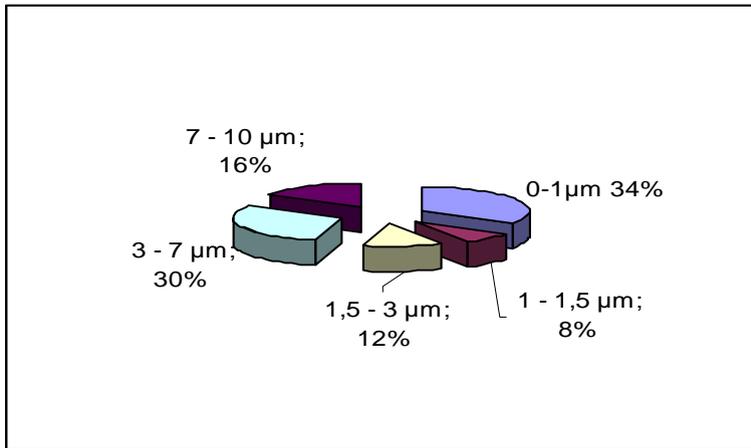


Figure 3 : Répartition des PM-10 par classe granulométrique en milieu urbain.

données des cinq classes granulométriques en portant sur un diagramme log-probabilité le diamètre d_i des particules en fonction du pourcentage de la masse cumulée des particules ayant un diamètre $\leq d_i$ (Butler, 1979). Les résultats ainsi obtenus montrent que les PM-2,5 constituent selon le type de site environ 92 à 94 % des PM-3. Ainsi, en assimilant les PM-3 aux PM-2,5, l'erreur commise est acceptable.

La comparaison des teneurs atmosphériques par rapport aux normes algériennes (J.O.- RADP, 2006) américaines (US-EPA, 1997), européenne (J.O.-CE, 1999) et OMS (WHO, 2005) est donnée en figures 4 et 5 pour les PM-10 et PM-2,5 respectivement. Pour les PM-1, ils n'existent pas encore de seuils-limites.

Ces comparaisons montrent que, par rapport aux sévères valeurs-guides de protection de la santé de l'OMS, les teneurs moyennes annuelles en PM-10 et PM-2,5 sont largement dépassées en tout type de sites. Les normes européennes et américaines ne sont respectées qu'en sites péri-urbains. La norme algérienne qui ne précise pas le type de particules (PM-10 ou particules totales en suspension ?) et qui est très peu contraignante est respectée sur tous les sites. L'objectif de qualité qu'elle fixe à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est cependant dépassé en site de proximité et sites urbains.

Globalement, on constate que la pollution par les particules fines est excessive aussi bien en site de type station trafic qu'en sites urbains.

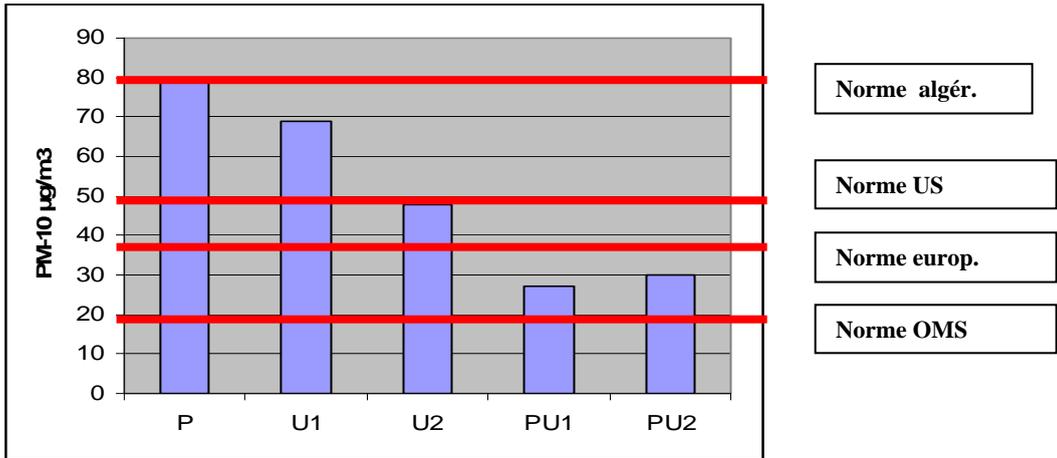


Figure 4 : Comparaison des PM-10 par rapport aux normes

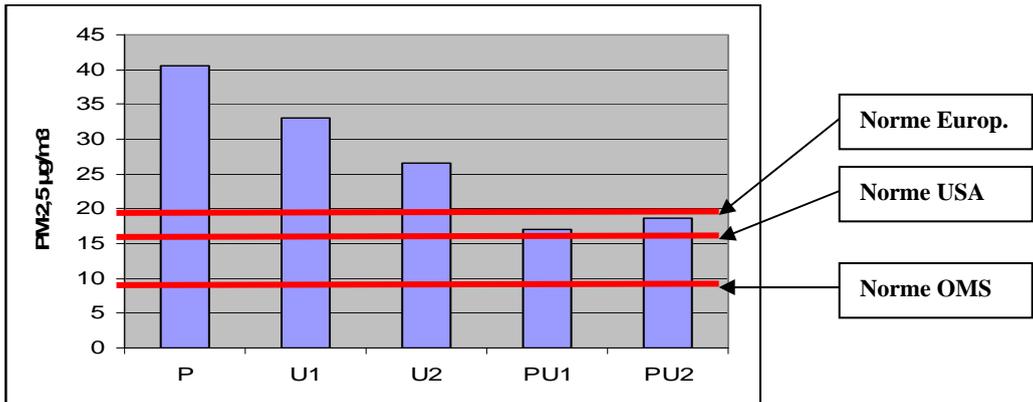


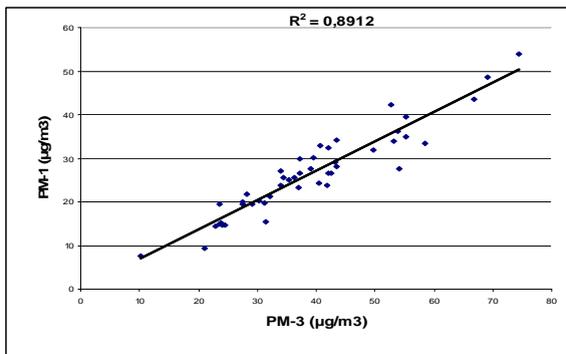
Figure 5: Comparaison des PM-2,5 par rapport aux normes

Cette pollution est inquiétante de par son ampleur, mais aussi de part la forte présence de particules très fines qui accentuent le potentiel nuisance des particules atmosphériques.

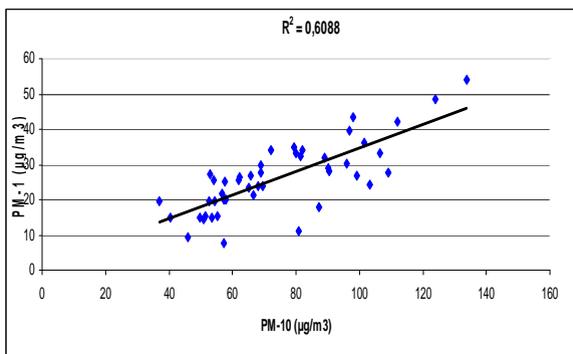
Une comparaison avec d'autres villes montre également que Alger accuse un taux élevé de pollution. Les teneurs en PM-10 mesurées à Alger sont en effet très supérieures à celles observées dans les villes européennes telles que Paris, Lyon et Marseille (22 à 40 µg/m³)(MEEDA, 2006), mais inférieures à celles des villes de certains pays émergents connues pour leur forte pollution comme Pekin (135,9 µg/m³) et Le Caire (130 à 250 µg/m³) (Gertler and coll, 2006).

3.2. Corrélations entre différentes classes granulométriques

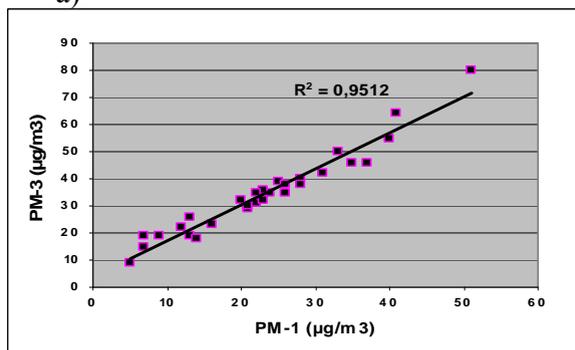
L'évolution journalière des teneurs en particules PM-1, PM-3 et PM-10 illustrée en figure 2 montre une similitude dans leur évolution, particulièrement entre les PM-1 et PM-3. La figure 6 présente certaines corrélations obtenues en site urbain et site de proximité. On remarque que pour les deux types de sites, on obtient de très bonnes corrélations linéaires entre d'une part les PM-1 et PM-3 et d'autre part les PM-(3-10) et PM-10. La corrélation entre les PM-1 et PM-10 n'est pas satisfaisante. Ce résultat suggère que les particules très fines PM-1 et PM-3 ont probablement la même origine, le trafic routier et les particules secondaires. Les fractions PM-10 et PM-(3-10) qui sont moins fines sont fortement enrichies en particules d'origine terrestre et particules de resuspension.



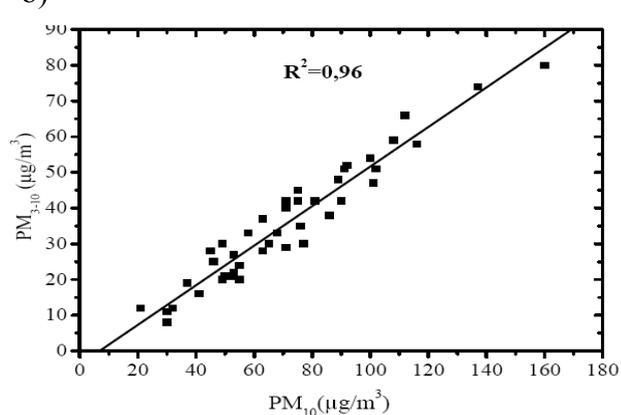
a)



b)



c)



d)

Figure 6 : Corrélations entre les classes PM-i en site de proximité (a et b) et en site urbain (c et d)

3.3. Distribution granulométrique des particules

L'étude des fréquences de distribution des teneurs des différentes classes granulométriques permet d'accéder à la modalité de la distribution granulométrique de particules mesurées à Alger (Zhuyun Xu et coll. 2002). L'exploitation statistique des données montre que les particules étudiées suivent une courbe de distribution bimodale centrée sur les modes 0,6 et 6 μm (figure 7) pour les sites urbains et les modes centrés sur 0,8 et 6 μm pour le site de proximité. La bibliographie rapporte des distributions bimodales similaires. Dans certains cas, on aboutit à une courbe trimodale lorsqu'on considère aussi les particules ultrafines.

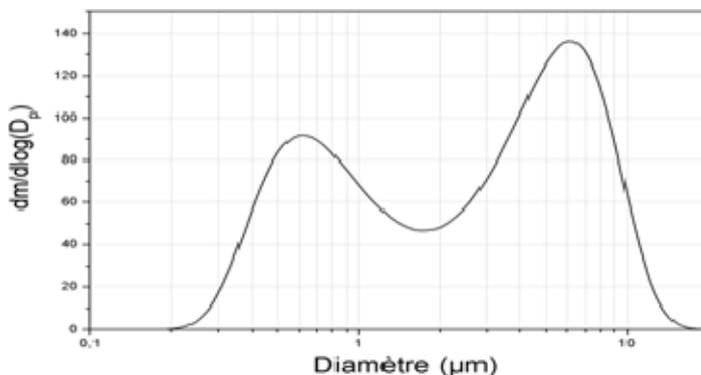


Figure 7: Distribution bimodale des particules PM-10 à Alger

3.4. Evaluation des métaux lourds associés aux PM-i

L'étude des métaux lourds par classe granulométrique montre que pratiquement dans toutes les fractions et dans tous les sites, le fer est, parmi les éléments étudiés, le métal le plus abondant. En milieu urbain, avec une teneur moyenne de 460 ng/m^3 , il constitue 0,62 % des PM-10. Le plomb, dans son abondance, suit le fer. De 300 ng/m^3 en site de proximité, il ne s'élève plus qu'à environ 6 ng/m^3 en site péri-urbain. En site urbain, les teneurs mesurées en plomb sont relativement élevées et dépassent la nouvelle norme européenne de 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'analyse de ces données montre que les métaux lourds se distribuent différemment sur les classes granulométriques. Ainsi en site urbain, le rapport $\text{Pb}_{\text{PM-3}}/\text{Pb}_{\text{PM-10}} = 0,66$ signifie que 66% du plomb atmosphérique global a une granulométrie inférieure à 3 μm . Dans le cas du fer, 60% se répartissent sur la moins fine fraction trachéobronchique des PM-(3-10). Le manganèse se comporte comme le fer. Cette différence dans la taille des métaux lourds est liée à leur source d'émission. Les métaux de l'écorce terrestre (Fe, Mn, Cu) sont associés aux particules grossières (3-10 μm) tandis que le plomb enrichit surtout les fines particules issues du trafic routier (figure 8).

Tableau 2: Teneurs atmosphériques en métaux lourds associés aux PM-i (nd= non décelable)

PM-i	Teneurs moyennes en métaux lourds (ng/m ³)					
	Fe	Pb	Mn	Cu	Cd	
PM-1	Proximité	148,9	150,8	16,8	32,7	7,4
	urbain	104,7	114,4	12,3	22,1	0,59
	Péri-urbain	146,6	nd	15,3	7,9	nd
PM-3	Proximité	282,9	208,9	31,2	63,2	12,8
	urbain	190,3	148,3	24,3	48,3	1,1
	Péri-urbain	251,4	4,2	28,7	12,8	nd
PM-10	Proximité	639,8	299,3	57,8	102,9	21,2
	urbain	460,1	222,4	41,3	60,8	1,4
	Péri-urbain	440,3	6,1	61,4	22,6	0,3

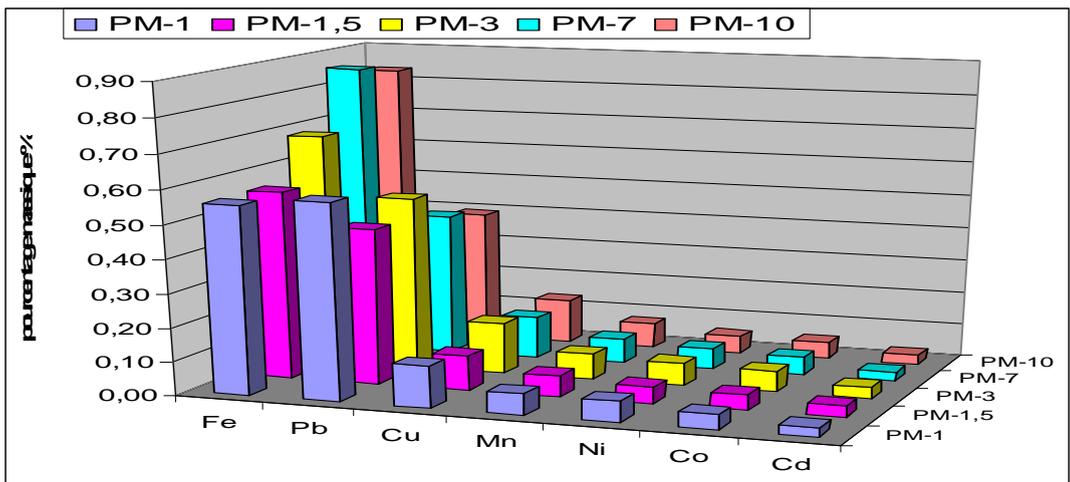


Figure 8 : Fractions massiques des métaux lourds dans les PM-i en site de proximité

4. Conclusion

L'étude réalisée sur plusieurs années a permis d'accéder aux niveaux de pollution de l'air par les particules fines (PM-10, PM-2,5 et PM-1) atteints à Alger en différents types de sites. En milieu urbain et en site station trafic routier, les teneurs en PM-10 et PM-2,5 sont excessives et dépassent les normes internationales et OMS. Cette pollution est d'autant plus inquiétante que plus de 60 % des PM-10 sont des particules respirables. En sites péri-urbains, les niveaux de pollution sont certes réduits de moitié, mais atteignent en ampleur les niveaux mesurés en sites urbains dans les grandes villes européennes. On montre par

ailleurs que les PM-10 suivent une distribution bimodale centrée sur 0,6 et 6µm. Il existe probablement trois sources majeures de pollution : le trafic routier et les particules secondaires pour les PM-3 et les sources terrigènes pour les PM-(3-10). L'étude des métaux lourds montre la présence d'un taux élevé de plomb associé aux particules très fines et de Fe et Mn de l'écorce terrestre dans les particules grossières. Ainsi, en plus des émissions du trafic routier, les sols nus, le manque de végétation et la resuspension contribuent à ces taux élevés en pollution de l'air par les particules.

Références

- 1- Boughedaoui M., R. Kerbachi et R. Joumard (2004) : Mesure de la pollution plombifère dans l'air ambiant d'Alger, Poll. Atm., N°121, p.105-111
- 2- Butler J.D. (1979): Air pollution chemistry, Academic Press, London, p 345-352
- 3- Chiron M., P. Quenel et D. Zmirou (1997) : La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. Poll. Atm., Janvier-mars, p 41-52.
- 4- Dockery D.W., C.A. Pope, X. Xu, J.D. Spengler, M.E. Ware, B.G. Fay, Jr. Ferris and F.E. Speizer (1993) : An association between air pollution and mortality in six US cities. N. Eng. J. Med., 329, p 1753 –1759.
- 5- Gertler A.W., M. Abu-Allaban and D.H. Lowenthal (2006), The mobile source contribution to observed PM-10, PM-2,5 and VOCs in The greater Cairo area, 15^e Colloque international "Transport et pollution de l'air", proceedings N°107, Vol. 1, Inrets Ed., Arcueil, France, 2006, p. 263-269
- 6- Janssen N. A. H., D. F.M. Van Mansom, K. Van Der Jagd, H. Harsema and G. Hoek (1997): Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations. Atm. Env., vol. 31, N°8, p 1185-1193.
- 7- Journal officiel des Communautés européennes (1999): L 163/41, directive 1999/30/CE du 27 avril 1999, Bruxelles.
- 8- Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire (2006), Décret N° 06-02 du 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique
- 9- Kerbachi R., M. Boughedaoui, L. Bounouna, M. Keddou (2006a), Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers, Atm. Env., 40, 2006 p. 3995-4003
- 10- Kerbachi R., M. Boughedaoui, A. Bitouche et R. Joumard (2006b) : Etude de la pollution de l'air par les particules fines PM-10, PM-2,5 et PM-1 et évaluation des métaux lourds qu'elles véhiculent en milieu urbain, 15^e Colloque international "Transport et pollution de l'air", proceedings N°107, Vol. 2, Inrets Ed., Arcueil, France, 2006, p. 213-218
- 11- Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, France (2007), Bilan de la qualité de l'air 2006, rapport du 7 mars 2007
- 12- Pope C.A., M.J. Thun, M. Namboodira, D.W. Dockery, J.S. Evans, F.W. Speizer and Jr. C. W. Heath (1995) : Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. Am. J. Respir. Crit. Care Med., vol. 151, N°3, p 669-674.

- 13- Schroeder W.H. et al. (1987): Toxic trace elements associated with airborne particulate matter, A review. JAPCA, 37, 11, p 1267 – 1285.
- 14- U.S.- Environmental Protection Agency (1997): National ambient air quality standards (NAAQS) for particulate matter, Federal Register, vol.62, N° 138.
- 15- WHO, Air quality guide line, Global update 2005, particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide, Genova 2005.
- 16- Zhuyun Xu, M. Gautam and S. Mehta(2002), Cumulative frequency fit for particle size distribution, Appl. Occup. Env. Hyg., volume 17(8), p. 538-542

Grands projets d'infrastructure, construction géopolitique et enjeux environnementaux : analyse comparée du projet Lyon-Turin et du projet de franchissement du Déroit de Gibraltar

Lisa Sutto, Olivier Klein

Laboratoire d'Economie des Transports. Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. Rue Maurice Audin. F- 69518 Vaulx-en-Velin cedex. France.

1. Introduction

Le projet d'une ligne ferroviaire nouvelle à travers les Alpes entre Lyon et Turin est déjà ancien. Initié à l'origine pour des raisons d'efficacité technique et économique, il a connu une série de transformations des objectifs qui lui ont été assignés, de la coalition d'acteurs qui s'y est impliquée qui permettent de structurer cette histoire en plusieurs étapes, plusieurs « dimensions » (1). Ces dix dernières années ont à nouveau marqué une nette évolution pour intégrer prioritairement des objectifs environnementaux. L'analyse précise de l'histoire de ce projet et de ses justifications montre que cette évolution est intimement liée à l'émergence d'un nouvel espace géopolitique alpin (2).

L'analyse que nous avons développée sur cet exemple nous servira à étudier le projet de franchissement du détroit de Gibraltar. Ce projet de lien fixe entre l'Europe et l'Afrique s'inscrit dans un contexte très différent. Néanmoins, il présente plusieurs similitudes avec le projet Lyon-Turin : franchissement d'un obstacle naturel, liaison entre 2 pays différents, ampleur du projet... Les deux projets sont également porteurs d'enjeux géopolitiques et d'enjeux environnementaux fondamentaux. Cette communication explore, à partir des enseignements de l'analyse du projet franco-italien, la façon dont les problématiques environnementales et géopolitiques se répondent au sein de l'espace méditerranéen, à travers les discours que suscite le projet de Gibraltar, à travers la conception même de ce projet et à travers les représentations des territoires concernés qu'il modifie.

Il s'agit de mettre en évidence les conditions qui permettraient – ou au contraire empêcheraient – l'affirmation au sein d'un grand projet Nord-Sud des enjeux du développement durable. Ces conditions peuvent concerner tant le *design* du projet en lui-même que le dessein géopolitique méditerranéen qu'il participe à construire.

2. Les différentes dimensions du projet Lyon-Turin

Le projet Lyon-Turin est un projet d'infrastructure de dimension exceptionnelle. Il consiste à construire un itinéraire ferroviaire entièrement nouveau entre les deux agglomérations françaises et italiennes distantes de 300 km. Il inclut un tunnel central de plus de 50 km sous la chaîne frontalière des Alpes, plusieurs autres tunnels importants sous des reliefs secondaires et un système d'accès différencié aux deux extrémités pour les trains de fret et de voyageurs à grande vitesse. Le montant estimé de l'investissement est de l'ordre de 15 milliards d'euros. La vie déjà longue de ce projet peut être organisée en plusieurs étapes, qui sont nommées « dimensions » (Sutto, 2007a) et se distinguent d'abord par le jeu d'arguments mobilisés pour défendre le projet, les objectifs qui lui sont assignés, la coalition d'acteurs qui interviennent sur ce dossier et finalement, mais pas systématiquement, par le contenu technique du projet lui-même (tracé, conception des équipements, etc.). C'est cette histoire que ce papier va retracer brièvement avant de détailler l'émergence de la « dimension alpine » du projet pour illustrer selon quelles modalités s'opère le passage d'une étape à la suivante.

2.1. La dimension ferroviaire ou l'efficacité des acheminements

Le problème des transports franchissant les Alpes franco-italiennes, tel qu'il a été posé à l'origine du projet, en 1987, ne concernait ni la fluidité des flux à travers les infrastructures existantes, ni les possibles répercussions sociales de ces derniers sur les populations et l'environnement des territoires de transit. Le seul argument mentionné à cette époque par la SNCF, concepteur du projet, concernait l'efficacité économique de l'acheminement ferroviaire des marchandises à travers la frontière franco-italienne. Pour G. Mathieu, « il s'agissait uniquement de faire un tunnel pour dépasser les caractéristiques montagneuses du territoire traversé, ne permettant pas la mise en place d'une offre économiquement soutenable »¹. Dans sa première configuration, en effet, il s'agissait d'un projet isolé : un tunnel de base de plus de 50 km et mixte (fret et voyageurs), se raccordant aux lignes existantes des deux côtés des Alpes.

2.2. La dimension régionale ou la grande vitesse pour servir le territoire

Avec l'ajout, dans la première partie des années 90, de deux nouvelles lignes à grande vitesse d'un côté et l'autre des Alpes, le Lyon-Turin prend sa forme actuelle. Sa transformation en projet à vocation prioritairement voyageurs repose sur plusieurs facteurs. Dans une logique stratégique de recherche d'alliances, le passage à une argumentation plus orientée vers l'accessibilité et les enjeux corrélés de développement et de dynamisation économique des territoires permet l'implication d'un nouvel acteur, la Région Rhône-Alpes, dans l'histoire du

¹ Entretien filmé avec Gérard Mathieu, à l'époque chef du département de la planification à la SNCF. LET, (2005).

projet. Aussi, elle est le résultat des outils et des compétences dont la SNCF disposait à l'époque pour ses études qui permettaient de valoriser les gains de temps offerts aux voyageurs alors que le fret était jugé peu sensible à la vitesse commerciale des trains (Klein, 2001). Enfin, l'ajout de deux lignes nouvelles est mis en relation avec les forts taux de croissance des flux entre les deux pays et sur le risque de saturation des franchissements (Rapport Legrand, 1991).

2.3. La dimension européenne ou le maillon manquant

Dans cette nouvelle configuration de ligne à grande vitesse, le projet commence à intégrer les politiques territoriales conduites à des niveaux de gouvernance différents : à une première dimension régionale, où l'argument de l'enclavement des territoires rhônalpins et piémontais est central, s'ajoute une dimension européenne. En décembre 1994, les acteurs régionaux réussissent à faire inscrire le projet Lyon-Turin à la liste d'Essen des 14 projets du RTE-T (Réseau Transeuropéen de Transport). Le Lyon-Turin devient à la fois l'un des « maillons manquants » d'un réseau continental et la solution au « goulet d'étranglement alpin ». Ce problème est identifié par l'UE comme l'un des obstacles majeurs au principe européen de libre circulation des biens et des personnes. Il donne à la Commission Européenne l'un des moyens de construire la légitimité qu'elle recherchait alors pour intervenir sur le champ des transports². Cette implication de l'Europe dans le projet renforce une argumentation axée sur les capacités de franchissement alpin et les évolutions de la demande future de transport.

2.4. La dimension nationale ou l'importance des trafics

Le soutien politique accordé par la Commission Européenne au dossier Lyon-Turin encourage une plus grande implication les deux gouvernements français et italien cantonnés jusqu'alors à des rôles marginaux dans la conduite du projet. Dès la deuxième partie des années 90, chaque Etat réinvestit sur ce dossier les prérogatives qui lui reviennent en matière de gestion des grands projets et le Lyon-Turin est discuté dans un contexte binational³. Sa nécessité est débattue et

² Bien que les transports soit l'un des rares domaines d'intervention explicitement mentionné dans le traité de Rome, la politique communautaire des transports est demeurée sans réelle consistance jusqu'en 1985, au moment où, à la suite d'une assignation du Parlement européen, la Cour de justice des Communautés européennes émet officiellement un "constat de carence" des Etats membres assorti d'une injonction à la commission de libéraliser l'exercice de l'activité au sein de la Communauté pour les entreprises des pays membres. En substituant la règle de la majorité qualifiée à celle de l'unanimité, l'Acte unique entré en vigueur en 1987 simplifie les modalités d'adoption par le Conseil de l'Union de la législation relative aux transports.

A partir de cette date, une politique européenne des transports s'est progressivement mise en place autour de l'harmonisation des conditions de concurrence, la libéralisation de l'activité, la sécurité et la sûreté, l'innovation technologique, la mise en oeuvre d'un réseau trans-européen et la préservation de l'environnement.

³ Avec la création, en 1995, d'un promoteur technique franco-italien, le GEIE Alpetunnel et d'un acteur politique franco-italien, la CIG (Commission intergouvernementale).

évaluée sur la base de la croissance des trafics entre la France et l'Italie par rapport aux capacités existantes. Les premières études de prévision des trafics réalisées par Alpetunnel (1995-97, fig.1) confirment un risque de saturation des passages alpins français et suisses et apportent des résultats chiffrés à l'argument de la nécessité d'adapter l'offre à une demande croissante. En revanche, l'argument « historique » de la fluidité et de la croissance, qui accompagne le projet dans la majeure partie des années 90, est remis en cause pour la première fois à la fin de décennie. En 1998, le rapport dit « Brossier », commissionné par le Ministère de l'équipement français, pointe du doigt la stagnation des trafics aux passages franco-italiens. Une première controverse « alpine » se développe, ainsi, entre des opposants, mettant en avant la stagnation effective depuis 1994 des trafics aux passages franco-italiens et l'accroissement de l'attractivité des passages suisses consécutive à la réalisation des tunnels de base du Gothard et du Lötschberg, et des partisans du Lyon-Turin, qui fondent leurs discours sur l'argument de la croissance des trafics sur l'ensemble de l'arc alpin.

3. La dimension alpine ou une politique des transports durables

Plusieurs transformations affectant le projet ont permis la résolution de cette controverse. L'inscription du Lyon-Turin dans un ensemble alpin s'est tout d'abord traduit par la redéfinition progressive de la question des trafics à l'échelle de l'ensemble du massif. Cette dimension alpine a aussi pris la forme d'une réorientation des objectifs assignés au projet : d'un projet destiné à assurer la croissance des flux, il va devenir un projet inclus dans une politique globale de report modal. En détaillant ces deux points, on verra que tous ces changements sont indissociables à la fois des événements « internes », propres à l'histoire du projet, et des événements « externes », s'étant produits au niveau de l'espace alpin : la négociation d'un accord sur les transports terrestres entre la Suisse et l'UE, les accidents aux tunnels routiers alpins (Mont-Blanc, Gothard,...) et la création d'un dispositif institutionnel de concertation alpine spécifiquement dédié aux transports (le Groupe de Zurich).

3.1. L'alpinisation de l'échelle géographique du Lyon-Turin

Le retour à la primauté du fret dans le projet – du côté français une nouvelle ligne spécialisée au gabarit fret est ajoutée aux ouvrages déjà prévus par le projet – marque une première étape dans le parcours d'alpinisation du Lyon-Turin. L'adjonction d'une nouvelle ligne fret rapproche le Lyon-Turin des autres projets ferroviaires alpins⁴ et lui permet, ainsi, d'être pleinement présenté au côté des projets suisses et autrichiens, dont il partage désormais les mêmes caractéristiques

⁴ Quatre grands projets ferroviaires, prévoyant un tunnel de base et des nouvelles lignes d'accès, concernent l'arc alpin: outre le Lyon-Turin, les 2 tunnels du Lötschberg et du St. Gothard, en Suisse, et le tunnel de base du Brenner, partie du projet de nouvelle ligne ferroviaire entre Vérone, en Italie, et Munich, en Allemagne.

et fonctionnalités. Ce changement d'image – d'un projet à vocation essentiellement binationale à un projet alpin – traduit plusieurs autres transformations. Tout d'abord, une nouvelle échelle géographique est prise en compte dans les études de trafic réalisées, à partir de 2001, par le nouveau promoteur LTF (fig. 1). L'inclusion de l'ensemble des passages alpins dans l'étude de la demande éligible du projet produit, concrètement, une augmentation de la demande de transport prise en compte dans l'évaluation du projet. Evidemment, l'espace retenu pour l'analyse influe directement sur les résultats des prévisions de trafic : selon que l'on considère les Alpes franco-italiennes, l'ensemble de l'espace alpin jusqu'à l'Autriche et que l'on inclut ou non le passage par le littoral méditerranéen à Vintimille, la demande prévue ne sera pas la même. Il s'agit en fait d'intégrer la volatilité des trafics, notamment longue distance, susceptibles de se reporter d'un passage à l'autre. La dernière colonne, de comparaison des résultats des prévisions de la demande globale réalisées par Alpetunnel et LTF présentée sur la figure suivante, permet d'apprécier l'ampleur de l'impact de l'espace considéré sur l'augmentation de la demande globale du projet.

Phase d'étude	Promoteur	Espace géographique	Sources de données	Modèle de projection	Demande globale
1995-2001	Alpetunnel Phase EP (SETEC)	Alpes occidentales (Vintimille – St. Gothard)	- Enquêtes routières spécifiques - Données SNCF, Fs	Loi centrale : relation entre le PIB moyen européen et la croissance des échanges	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 77 Mt - 1997 ▪ 145 Mt - 2015 ▪ 200 Mt - 2020
2001-2003	LTF Phase APS (SETEC)	Arc Alpin (Vintimille-Tauern)	CAFT 1999	Idem, mais : <ul style="list-style-type: none"> ▪ PIB italien ▪ Élasticités décroissantes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 125 Mt - 1999 ▪ 256 Mt - 2017 ▪ 346 Mt - 2030
2003-2006	LTF Phase APR (SETEC)	Arc Alpin (Vintimille-Tauern)	CAFT 2004	Idem, mais différenciation pour la croissance économique : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Import : PIB italien ▪ Export : PIB 10 pays 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 125 Mt - 2004 ▪ 238 Mt - 2020 ▪ 293 Mt - 2030

Figure 1 : Les trois phases d'étude de trafics du projet

En gommant le poids de la stagnation aux passages franco-italiens, ce qui permet de surmonter les critiques formulées par le rapport Brossier, ces nouveaux résultats s'appuient sur l'idée que les trafics transalpins sont à considérer comme faisant partie d'un système unique de passages interdépendants à l'échelle de l'arc alpin entier. Cette représentation d'un espace alpin unifié des trafics est pour une part le fruit du renouvellement de l'analyse des évolutions des flux transalpins. En effet, dans les années 90, la France, la Suisse et l'Autriche initient un dispositif d'observation coordonné des trafics, les enquêtes CAFT (Cross Alpine Freight Transport Survey). Les données produites, comparables d'un point de passage à

l'autre, permettent de mettre en évidence et de préciser les phénomènes de « volatilité » des trafics (Sutto, 2008). De nombreuses études ont été consacrées à ce sujet (Köll, Lange et Ruffini, 2007). Mais l'affirmation de l'espace alpin a aussi une cause politique liée à la position particulière de la Suisse. Ce pays, non-membre de l'UE mais situé au cœur du continent et du massif alpin, a en effet inscrit dans sa loi fondamentale un objectif de réduction du trafic en transit sur son territoire et pris au début des années 90 des mesures unilatérales de limitation du tonnage des PL autorisés à circuler. Pour l'UE, cette limitation contrevient au principe de libre circulation. Un accord fondé sur une régulation tarifaire (et non plus physique) et la mise en place d'une offre ferroviaire alternative a finalement été trouvé entre les deux parties en 1999. Cet épisode a fortement contribué à la prise de conscience du phénomène de volatilité entre passages par les autres pays alpins inquiets de l'impacts d'une régulation tarifaire du trafic à travers la Suisse.

3.2. L'alpinisation des objectifs du projet Lyon-Turin

L'accord UE/Suisse détermine aussi une évolution de la politique alpine de l'Europe. Les termes de la négociation font que si la Suisse accepte le principe européen de libre circulation, l'UE adopte pour sa part l'objectif suisse de report du trafic alpin de la route vers le rail. Dès lors, la représentation du problème des franchissements ne se pose plus en termes de risques de saturation des capacités physiques des traversées alpines, mais plutôt de risques pour les territoires (pour les habitants et l'environnement) de la croissance des trafics. L'adoption d'une échelle géographique alpine de référence correspond ainsi à une nouvelle argumentation du projet Lyon-Turin, s'appuyant désormais sur des objectifs de report modal empruntés aux politiques de transport discutées à l'échelle alpine⁵. Dans ce contexte, le projet acquiert un rôle nouveau : de mesure pour répondre à la demande de transport, il se transforme en instrument d'orientation et contrôle de cette demande. Néanmoins, cette évolution ne s'est pas faite du jour au lendemain. Dans un premier temps, l'objectif du report modal ne dépasse pas le discours et un hiatus se produit entre cette rhétorique politique et l'évaluation technique du projet, qui reste confinée au cadre de l'estimation de la capacité et de son adaptation à la demande. Ce hiatus fragilise la cohérence de la justification du projet et ouvre la voie à des nouvelles contestations : une contestation interne au Ministère de l'équipement, en France, devient évidente lors de la publication d'un rapport d'Audit en 2003, et une contestation militante et des riverains, en Italie, qui s'alimente pour partie des arguments développés par l'Audit français

⁵ À la suite des négociations UE/CH et des accidents des tunnels du Mt-Blanc et du Gothard, les administrations étatiques en charge des transports dans les pays alpins ont éprouvé en 2001 le besoin de mieux partager leurs compétences et leurs réflexions au sein d'une structure de travail commune, le "groupe de Zürich", marquant la volonté d'élaborer et de mettre en oeuvre une politique des transports à l'échelle de l'ensemble du massif.

La nécessité de répondre à ces nouvelles controverses est à l'origine de l'intégration de la problématique du développement durable dans la nouvelle phase d'études techniques réalisées par LTF (APR, 2003-2006). L'introduction d'un nouveau module de choix modal plus sensible aux critères de choix des opérateurs de transport, traduit un glissement de l'attention, dans les études, de la question de la génération des trafics à la question de la répartition modale. Elle permet de montrer et de quantifier la capacité du projet à produire du report modal et de répondre ainsi à une partie des critiques adressées au Lyon-Turin.

Néanmoins, cette réponse est encore partielle. Elle soumet totalement l'objectif de report modal à la réalisation de l'ouvrage et confirme en cela la place centrale de la politique d'infrastructures au sein de la politique de transports de la France et l'Italie. De ce fait, elle laisse le champ ouvert aux critiques de la faisabilité du projet (Tartaglia, 2005) et de son efficacité économique (Prud'homme, 2007 et Ponti, 2007). Une réponse différente commence alors à être formulée sur la base des nouvelles études conduites à partir de 2006 par le groupe de travail « Report Modal » de la CIG et LTF et les expertises réalisées dans le cadre des travaux de l'*Osservatorio Virano*⁶, en 2007, en Italie. Le report modal est présenté dans ces études comme un objectif à poursuivre avant la réalisation du Lyon-Turin. L'étude de nouvelles mesures d'accompagnement du report modal sur la ligne historique permet de montrer que cette dernière n'est pas suffisante pour garantir un objectif important de transfert vers le fer et que, par ailleurs, la seule construction d'une infrastructure ferroviaire n'entraîne pas un report modal automatique. Le Lyon-Turin est dès lors inscrit dans le cadre de la simulation de plusieurs autres mesures d'accompagnement de cet objectif. Sa réalisation sort du simple cadre de la politique infrastructurelle, pour intégrer le cadre des politiques de transport discutées dans le cadre multinational des dispositifs de concertation alpine.

3.3. Quels enseignements tirer de l'expérience du Lyon-Turin ?

Cette analyse de l'émergence de la dimension alpine du projet Lyon-Turin illustre les dynamiques d'évolution d'un projet de cette ampleur. Elle enseigne d'abord que la vie d'un projet n'est pas un processus d'accumulation linéaire au cours duquel les choix initiaux ne feraient que s'affiner et se concrétiser. Il faut au contraire envisager des bifurcations, des remises en causes qui traduisent la capacité du projet à tirer parti des difficultés et des oppositions qu'il rencontre.

Cet exemple montre aussi que les évolutions du projet ne sont pas seulement la conséquence de la volonté des acteurs du projet, ni même le résultat du seul jeu de

⁶ Suite aux émeutes des riverains italiens du Val de Susse pendant l'hiver 2005/06 contre le démarrage des travaux de reconnaissance, en 2006 le gouvernement Prodi décide la création de l'*Osservatorio tecnico* présidé par M. Virano, en affichant ainsi sa volonté de rechercher un dialogue avec les territoires et de reconstruire le consensus après la rupture de 2005.

ces acteurs. D'autres logiques, extérieures au projet interviennent également. Il faut encore insister sur le rôle des « actants non humains » du projet, illustré ici par les dispositifs d'observation des trafics qui permettent ou non la mise en évidence du phénomène de volatilité (Sutto, 2007b).

Enfin, il faut souligner la nature et les limites des objectifs environnementaux auxquels peut répondre un grand projet d'infrastructure de transport. Dans le cas du Lyon-Turin, l'objectif de report modal s'inscrit dans une perspective d'orientation de la mobilité des biens et des personnes vers des moyens d'acheminement physique moins producteur de nuisances environnementales, dans une logique de découplage relatif. L'argumentaire du projet exclut toute perspective de réduction nette de la mobilité. Ce parti-pris est d'abord celui des acteurs principaux du dossier qui font de la mobilité un facteur de croissance et plus généralement de progrès humain.

4. Les enjeux du projet de franchissement du détroit de Gibraltar encore en devenir

Le projet de franchissement du détroit de Gibraltar est un projet d'ampleur comparable à celle du Lyon-Turin. La longueur de l'ouvrage envisagé (environ 40 km), son importance symbolique et politique, les difficultés techniques de réalisation, le montant de l'investissement à financer (de 5 à 18 milliards d'Euros selon la presse) le classent dans la catégorie des très grands projets.

Il ne s'agit pas ici de livrer une analyse détaillée de l'histoire du projet de franchissement du détroit de Gibraltar. On envisagera tout d'abord les différents enjeux sous-jacents à ce projet, puis on examinera comment une dimension inscrite dans une perspective de développement durable de l'espace de la Méditerranée occidentale pourrait venir s'y insérer.

4.1. Les enjeux techniques ou le défi des constructeurs

Comme tous les grands projets d'infrastructure, la construction d'un lien fixe à travers le détroit de Gibraltar enflamme les imaginaires techniciens. Depuis son origine en 1980 (signature d'un premier accord de coopération bilatérale entre le Maroc et l'Espagne) et 1996, date à laquelle l'alternative de base a été arrêtée sous la forme d'un tunnel ferroviaire de près de 40 km, la dimension technique du projet a été prépondérante. Elle a été alimentée par diverses propositions d'options de franchissement : des ponts routiers ou mixtes (route/fer), flottants ou reposant sur le sol marin à grande profondeur, des galeries immergées ou des tunnels forés dans le sous-sol marin à des profondeurs variables puisque la zone la plus étroite du détroit (14km) est aussi la plus profonde (900m) alors que la profondeur est moindre (300m) dans la zone de plus grande largeur.

Le choix d'un tunnel foré est sans doute celui qui fait appel aux techniques les plus éprouvées. Il demeure, par les dimensions de l'ouvrage et la géologie de la

zone tectonique à traverser, un ouvrage exceptionnel que la presse se plaît à mentionner comme « le dixième des douze travaux d'Hercule » (*La Repubblica*, citée par *Courrier international*). Le défi technique que représente cet ouvrage reste un axe de la communication faite à son propos.

Le prolongement de cet enjeu technique est l'enjeu industriel de sa conception et de sa construction. Tout en préservant la parité entre les deux pays, on voit déjà poindre les géants du BTP espagnol d'une part, et l'ingénierie suisse qui sert de caution quant à la maîtrise des risques technologiques.

4.2. Les enjeux géopolitiques ou la soumission au « grand jeu » de la Méditerranée occidentale

Les enjeux géopolitiques du projet sont tellement nombreux et complexes qu'il serait illusoire de prétendre les analyser en détail dans cette présentation. On peut néanmoins mentionner les principaux points et leur influence potentielle sur le projet en commençant par l'échelle bilatérale des relations entre le Maroc et l'Espagne. Il existe en effet un contentieux territorial important entre les deux pays, lié au statut des deux enclaves espagnoles de Ceuta et Melilla, sur la rive sud du détroit (plus les îlots Persil), revendiquées par le royaume Chérifien. Ce différent est régulièrement source de tensions qui peuvent avoir d'importantes répercussions sur un projet qui reste totalement géré dans le cadre des relations intergouvernementales des deux états. Outre les successions de « stop and go » liés aux aléas diplomatiques, la situation implique une grande rigidité sur le principe de parité entre les deux pays.

Une seconde échelle d'enjeux tient à la place de l'Espagne et du Maroc en Méditerranée occidentale. Le projet semble plutôt renforcer la position des deux pays vis-à-vis de leurs voisins. Pour le Maroc spécifiquement, il est ressenti comme un élément fort d'arrimage à l'Europe Plus largement, l'épisode récent des dissensions franco-allemandes à propos de l'Union Pour la Méditerranée montre qu'au-delà des rives de la mer intérieure, ces questions concernent aussi les équilibres internes à l'UE.

Une troisième échelle d'enjeux est souvent exprimée à travers l'idée d'un lien entre l'Europe et l'Afrique. Par-delà la symbolique forte, cette échelle renvoie d'abord à la question des flux migratoires, avec le paradoxe d'une Europe qui cherche à se protéger de l'immigration qu'elle définit comme illégale mais qui se trouve de plus en plus ouvertement confrontée au défi démographique de sa faible natalité (J.-Y. Moisseron, 2005, p. 35). Cette échelle « Eurafricaine » renvoie également aux questions de convergence socio-économique des deux rives de la Méditerranée, donc à celle du développement de l'Afrique, mais aussi à celle de la stabilité de l'ensemble ouest-méditerranéen. C'est essentiellement en termes de capacité de l'espace européen à étendre son influence vers le sud – qu'on lise cette extension en termes de domination ou en termes plus positifs et plus équilibrés de

potentiel d'entraînement économique et démocratique – que le problème est habituellement posé. A cette échelle, le projet apparaît soumis aux aléas et vicissitudes de la politique européenne dite « de voisinage »⁷ qui détermineront fortement l'engagement financier de l'Europe.

Au regard de ces questions générales, l'apport du projet est impossible à préciser *a priori*, si ce n'est par le signe tangible d'une volonté commune que sa réalisation traduirait. Il semble en tout cas que le projet de franchissement du détroit de Gibraltar soit lourdement soumis aux évolutions du contexte géostratégique et aux orientations des principaux acteurs. Cette soumission peut s'avérer une chance pour accélérer sa réalisation, ou au contraire, un obstacle insurmontable. A cette étape préliminaire, néanmoins, elle pourrait plutôt constituer un élément de stabilité dans la mesure où il apparaît politiquement coûteux à ses principaux acteurs (Maroc, Espagne UE) d'envoyer un signal d'éloignement des deux rives méditerranéennes alors que la poursuite de l'élaboration du projet n'est en regard financièrement pas encore très onéreuse.

4.3. Les enjeux financiers ou le déséquilibre des pouvoirs

Le financement d'un investissement de l'ordre de la dizaine de milliards d'Euros détermine largement l'avenir du projet. De ce point de vue, la position des promoteurs de l'ouvrage est pragmatique et déjà très affirmée : financer sur fonds publics les éléments concentrant le plus les risques du projet et proposer aux financeurs privés un projet dont les risques sont mesurables. Cette orientation a largement déterminé le choix de la solution technique d'un tunnel foré bitubes. Cette solution permet en effet « d'éponger » le risque géotechnique par le creusement de la galerie de secours centrale qui serait financée sur fonds publics, alors que les deux galeries latérales, dont la réalisation pourrait être dissociée pour suivre l'évolution du trafic, bénéficieraient de risques technologique maîtrisés (SNED et SECEG, 2006).

Si l'on considère que les financeurs privés s'engageront sur la base d'une appréciation rationnelle de l'espérance de gain qu'ils pourraient retirer de l'ouvrage, le pouvoir sur le projet appartient aux financeurs publics à qui il reviendra de lui donner l'impulsion initiale. Considéré de ce point de vue, le destin du projet est alors largement dans les mains de la rive nord.

4.4. Les enjeux du développement économique des territoires ou la globalisation et les déséquilibres sud-nord

Dans un projet comme celui-ci, les territoires situés de part et d'autre du tunnel bénéficient a priori d'une rente de situation : elle permet aux opérateurs économiques de l'autre rive de valoriser au mieux les avantages comparatifs dont

⁷ http://ec.europa.eu/world/enp/index_fr.htm

peut se prévaloir ce côté-ci. Dans le cas de Gibraltar, où, aujourd'hui en tout cas, le différentiel économique est important⁸, la fluidification des échanges à travers le détroit peut avoir des effets importants.

Cependant, ces effets ne sont pas symétriques de part et d'autre car les opportunités offertes ne sont, par définition, pas identiques. Aujourd'hui, le mouvement qui voit certaines activités profiter des salaires marocains inférieurs pour alimenter à moindre coût le marché européen est déjà entamé. Le territoire espagnol, qui a largement profité de cette logique vis-à-vis des autres pays européens depuis son entrée dans l'UE est elle-même concurrencée sur ce terrain. A ce mécanisme, il faut cependant ajouter que la provenance des capitaux délocalisés détermine aussi la destination finale des bénéfices générés. La rente de situation tirée du différentiel économique devrait logiquement induire un surcroît d'activité sur le territoire Maroc, mais les producteurs européens sauront aussi en tirer parti. Dans cette logique, à plus long terme, avec le développement du marché intérieur marocain d'équipement et de consommation, l'Europe tirera un nouveau bénéfice de ce processus. L'Espagne, en particulier, valorisera alors à plein sa proximité géographique et sa connaissance de ce marché.

Deux remarques doivent nuancer cette vision bienheureuse de l'impact globalisant du projet. La première reprend les critiques sur les conséquences sociales de cette croissance extravertie. La seconde souligne que le processus n'attendra pas le lien fixe et n'a, en stricts termes d'accessibilité, pas besoin de lui. Les transports aériens et maritimes suppléent aujourd'hui plutôt bien aux besoins de la mondialisation.

Il reste que les enjeux pour les territoires situés à proximité immédiate des débouchés du tunnel apparaissent déséquilibrés. Le Nord du Maroc bénéficie déjà d'une stratégie fondée sur la proximité du marché européen en matière de logistique (le port de Tanger) comme en matière d'industrie « délocalisée ». Le lien fixe apparaît cohérent avec cette stratégie. En revanche, le bénéfice que pourra tirer l'Andalousie du lien fixe apparaît moins évident, si ce n'est quelques infrastructures supplémentaires pour assumer le rôle territoire de transit qui lui sera dévolu. Ce déséquilibre est sans doute l'un des écueils les plus importants du projet. Il appellera sans doute, qu'à un moment de son avancée, un effort spécifique soit fait pour valoriser une position andalouse qui n'est pas « spontanément » favorable.

5. Conclusion : quelle place pour les enjeux environnementaux ?

Les enjeux environnementaux apparaissent aujourd'hui comme une dimension obligée de toute politique publique d'aménagement. Pourtant, la littérature disponible sur le projet de franchissement du détroit de Gibraltar ne fait que très

⁸ <http://geoconfluences.ens-lsh.fr/doc/etpays/Medit/MeditDoc.htm#1>

peu mention de ces préoccupations. En fait, la protection de l'environnement n'est mentionnée qu'en lien avec les retombées directes du chantier qu'il s'agit de minimiser, ou en relation avec la sûreté de la solution en souterrain qui élimine les risques de collision maritime. En revanche, nous n'avons trouvé aucune trace de préoccupations environnementales plus globales.

Au contraire, la note d'information officielle sur le projet (SNED et SECEG, 2005) détaille les connexions de l'ouvrage aux réseaux autoroutiers et ferroviaires au Nord et au Sud. Elle précise aussi les projets autoroutiers liés, vers l'Algérie et vers l'Afrique de l'Ouest. Mais elle n'évoque jamais les conséquences en termes de bruits ou d'émissions atmosphériques des trafics associés. Elle ne marque pas la moindre préférence quant au partage modal de ces trafics. De la même manière, les enjeux de développement économiques associés au projet ne sont par exemple jamais reliés aux questions de ressource en eau pourtant cruciales au Maroc.

Dans ces conditions, on peut s'interroger sur les processus qui pourraient conduire à l'affirmation des enjeux environnementaux dans le projet de franchissement du détroit de Gibraltar. Sur ce point précis, le rapprochement avec le projet Lyon-Turin fournit quelques indications. L'histoire du projet alpin confirme tout d'abord qu'un projet d'infrastructure de cette ampleur repose fondamentalement sur une idéologie qui valorise fortement la circulation des biens et des personnes. Elle montre aussi que les préoccupations environnementales s'imposent généralement à ce type de projet de l'extérieur. Elle indique enfin que la combinaison du projet, et de son idéologie circulatoire, avec une thématique écologique s'opère à travers des processus d'ajustement et de négociation qui mettent en jeu non seulement les acteurs du projet, mais aussi ses finalités et les outils qu'il faudra mobiliser pour répondre à ses problématiques.

Dans le cadre spécifique du projet de Gibraltar, on peut aisément anticiper que l'engagement de l'Union européenne impliquera que le projet rentre en cohérence avec les politiques, en particulier environnementales, qu'elle met en œuvre par ailleurs. On peut avancer également que la pression sur l'UE à ce propos pourrait être relayée du côté espagnol. Le projet transforme en effet ce pays de « confins » en un territoire de transit. Il l'obligera à gérer des nuisances à propos desquelles l'Espagne et ses camionneurs font aujourd'hui plutôt figure d'accusés ailleurs en Europe.

Cette évolution se posera avec plus d'intensité encore en Andalousie pour laquelle les bénéfices économiques à retirer de l'ouvrage ne sont guère évidents. Tous les éléments sont alors réunis pour qu'un arbitrage entre la réalisation du projet, les contreparties territoriales offertes à l'Andalousie et l'orientation du trafic vers des modes de transport plus respectueux de l'environnement devienne nécessaire. Il affectera profondément le projet lui-même, ne serait-ce qu'en raison d'une économie générale de l'ouvrage très différente suivant qu'il est essentiellement

parcouru par des navettes sur le modèle du tunnel sous la Manche ou par des trains de fret à long parcours... encore faut-il disposer d'outils capables de simuler des scénarios variés de ce point de vue. Ces transformations du projet ne pourront pas ignorer la rive sud. Les enjeux liés à la maîtrise du développement économique et de ses conséquences pourraient même en être un carburant essentiel.

Pour autant, le processus de montée des enjeux environnementaux dans le projet de Gibraltar n'est pas écrit à l'avance. De multiples impondérables interviendront inmanquablement. On peut pourtant dès à présent tenter deux conclusions. La première, et l'exemple du projet Lyon-Turin nous y encourage, est que le franchissement du détroit ne pourra pas éviter cette dimension. Sa capacité à l'intégrer dans la consistance même du projet sera l'un des points de passage à travers lesquels ce qui n'est encore qu'un dessein pour le futur se concrétisera progressivement ou non. Une seconde conclusion tient à la nécessaire articulation des finalités qui résultera de cet enrichissement du projet : c'est comme élément d'une politique plus globale de développement durable de la Méditerranée occidentale que le projet mobilisera les énergies qui lui sont indispensables.

Bibliographie

- 1- Boitani A., Ponti M., Ramella F. (2007), *TAV: le ragioni liberali del no*. IBL Briefing Paper.
- 2- Didier M., Prud'homme R. (2007), *Infrastructures de transport, mobilité et croissance*. La documentation française. Paris.
- 3- Klein O. (2001), La genèse du TGV, une innovation contemporaine de l'épuisement du fordisme, *Innovations, Cahiers d'économie de l'innovation*, n° 13, pp. 111-132.
- 4- Köll H., Lange S., Ruffini F.V. (2007), La question des détours dans le transport routier de marchandises. *Revue de Géographie Alpine*, Tome 95 n° 1.
- 5- Moisseron J.-Y. (2005), *Le Partenariat euro-méditerranéen. L'échec d'une ambition régionale*, Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble.
- 6- Osservatorio Tecnico Collegamento Ferroviario Torino-Lione (2007), *Linea Storica. Tratta di valico*. Quaderno 1. Presidenza del Consiglio dei Ministri..
- 7- Société Nationale d'Etudes du Déroit de Gibraltar (SNED) et Sociedad de Estudios para la Comunicacion fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEG) (2006), *Note d'information sur le projet de tunnel entre l'Europe et l'Afrique à travers le Déroit de Gibraltar*, 26 p. (<http://www.secegsa.com/> ou <http://www.sned.gov.ma/presentation.asp>, sites consultés le 10/07/2008).
- 8- Sutto (2007a), *Influence of traffic studies on transport policy decisions: the case of the Lyon-Turin railway link*. 11th WCTR, World Conference on Transports. Berkeley
- 9- Sutto (2007b), *De la modélisation de la demande de transport à l'évaluation des politiques de transports : une lecture critique des méthodes de prévision de la demande dans le cas du projet Lyon-Turin*. 47th Congress ERSA, European Regional Science Association. Paris.

- 10- Sutto (2008), *L'affirmation d'un nouvel espace géopolitique en Europe : émergence et construction d'un espace alpin des transports*. XLV Colloque ASRDLF, Rimouski (Québec).
- 11- Tartaglia A. (2005), *Le motivazioni economiche del no all'Alta Velocità*. Appunti del Convegno del Centro Studi Sereno Regis, Torino.

Le commerce Afrique-Union Européenne de produits végétaux tempérés, conséquences locales et impacts environnementaux globaux

Mathieu STRALE*

* Université Libre de Bruxelles, Bld du Triomphe CP 246 – 1050 Bruxelles – Belgique
Fax + 32 2 650 50 92 – mstrale@ulb.ac.be

Résumé

Le Commerce de produits végétaux tempérés, c'est à dire pouvant être cultivées sous les hautes latitudes, de l'Afrique vers l'Union Européenne, connaît une forte croissance depuis une vingtaine d'année. Cette industrie, exemple de la mondialisation des échanges et de l'insertion de l'Afrique dans ce système, est contrôlée en grande partie par des entreprises européennes. Elle vise à alimenter les consommateurs européens en produits frais tout au long de l'année. Les conséquences environnementales et sociales de ce commerce sont importantes, tant au niveau local, exclusion des petits producteurs, pollution de l'eau, concurrence pour l'utilisation du sol, que global, émissions de gaz à effet serre en forte hausse. Il s'agit donc de réfléchir à l'évolution future de ce commerce dans un contexte plus durable et moins inégalitaire.

Mots-clés : *commerce international de produits frais, mondialisation, Afrique, Europe, réchauffement climatique, environnement local, inégalités socio-économiques.*

Abstract

The Africa-European Union trade of temperate crop products, local consequences and global environmental impacts

The trade of temperate crop products, i.e. that could be cultivated under the high latitudes, from Africa to the European Union, has known a strong growth since about twenty years. This industry is controlled to a great extent by European firms, especially the supermarkets and the exporters, what is an example of the globalisation of the exchanges and of the insertion of Africa in this system. It aims at feeding the consumers with fresh products throughout the year, even during the winter, when most cultures are impossible in Europe. Environmental and social consequences of this trade are important at various levels. At the local level, the small producers are largely excluded from this trade and their incomes go down. Environmental consequences are also important: pollution of water, competition for the use of the soil and water. At global level, greenhouse gas emissions produced by these exchanges and particularly by air transport are in strong increase, what underlines the lack of durability of this industry. It is thus time of thinks of the future evolution of this trade in a more durable and less unfair way.

Keys-words: *international trade of fresh produces, globalisation, Africa, Europe, global warming, local environment, socio-economic inequalities.*

Introduction

Le coût relativement faible des transports et la mondialisation de l'économie ont entraîné une forte augmentation des échanges de biens et ce dans un système polarisé par les pays les plus riches. Dans ce contexte, le commerce de fruits et légumes frais et de fleurs coupées de l'Afrique vers l'Union Européenne connaît une croissance rapide. Cette industrie bénéficie d'une main d'œuvre bon marché, de transports rapides et peu coûteux par rapport à la valeur des marchandises transportées et une demande grandissante de produits frais et variés tout au long de l'année de la part des consommateurs.

À partir des données de la FAO et d'Eurostat, nous connaissons le volume, la superficie des cultures et l'importance relative des exportations de produits végétaux frais des pays d'Afrique. L'objectif de cette communication est d'évaluer l'impact environnemental et social, en général et pour les populations d'Afrique en particulier, de ce commerce, organisé par les chaînes logistiques occidentales d'approvisionnement des consommateurs européens.

1 Un commerce en plein développement, fruit de l'économie mondialisée

La production de fruits, fleurs coupées et légumes frais principalement à destination de l'Europe a connu un engouement marqué en Afrique depuis les années '80. Cette industrie se base sur la culture de variétés de fruits et légumes issues des climats tempérés, afin d'approvisionner les marchés en produits frais tout au long de l'année. Ce commerce est en majorité le fait des grands groupes de distribution européens qui grâce à lui peuvent augmenter leur offre de produits frais et le nombre de variétés proposées et ainsi répondre à la demande des consommateurs, Singh (2002). De ce fait, on a assisté à un mouvement de diversification et de hausse très forte de la production, avec un triplement des volumes échangés entre 1985 et 2008, Singh (2002) et Eurostat (2008).

La production s'organise selon une double logique, visible au niveau géographique (voir figure 1) : d'une part, une production complémentaire aux cultures européennes, réalisée dans les pays bordant la méditerranée et jouant sur la proximité de ces pays avec l'Europe, un climat plus doux et des coûts plus faibles, et d'autre part une production à contre-saison, réalisée dans l'hémisphère sud, afin d'assurer l'approvisionnement des marchés européens en produits frais pendant l'hiver septentrional. La culture de fleurs s'inscrit plutôt dans le second schéma, en contre-saison des cultures européennes.

Si la très grande majorité de la production africaine de fruits et légumes frais à destination de l'Europe est transportée par bateau (voir figure 1 et 2), le transport aérien connaît une croissance très rapide (voir figure 2), et sa part a presque doublé en dix ans. Le mode de transport des produits dépend de leur valeur et de leur durée de conservation, des produits fragiles et à forte valeur - fruits rouges, légumineuses - seront transportés par avion alors des produits plus lourds et à plus longue conservation - agrumes, pommes - emprunteront la voie maritime, Defra (2007). De même, les fleurs coupées, à forte valeur et devant arriver immédiatement sur le marché européen, seront presque exclusivement transportées par avion. La voie aérienne a bénéficié du faible coût de ce transport par rapport à la valeur des marchandises transportées et

du développement du tourisme, les routes des avions de touristes pouvant servir également à transporter des denrées alimentaires.

Les autorités africaines ont promu ce commerce vu comme une solution pour diversifier les exportations, augmenter les revenus et apporter des devises au pays, Singh (2002). Cette activité a été particulièrement encouragée dans les années '80 et '90, suite à la mise en place des plans d'ajustement structurels et des politiques de libéralisation économique, réalisés avec le soutien des organismes financiers mondiaux, banque mondiale et FMI, World Bank (2007). Les produits agricoles tempérés, dont les prix fluctuaient moins que les productions africaines traditionnelles devaient garantir un revenu relativement constant et éviter la dépendance des pays africains vis-à-vis de quelques productions, coton, cacao,... Defra (2007). Suite à cette politique, l'exportation de fruits et légumes tempérés à destination de l'Europe a dépassé, en volume et en valeur, tous les autres échanges Afrique-Europe de produits agricoles, Singh (2002).

Durant la même période, la concentration de ce secteur dans les mains des grands producteurs, exportateurs et distributeurs européens s'est poursuivie, ils représentent aujourd'hui 50% de la production. Cette dernière se réalise de façon croissante au sein de grandes exploitations, régulièrement propriétés d'exportateurs européens, Okado (2001). Les raisons de cette évolution sont multiples. Premièrement, le commerce de produits frais entraîne une contrainte majeure, le maintien de la fraîcheur et de la qualité du produit jusqu'à sa consommation par le client final. Pour cela, d'importantes infrastructures sont nécessaires pour le nettoyage, la désinfection, l'emballage et le transport. À cette fin, les exportateurs et distributeurs européens ont développé des infrastructures portuaires et aéroportuaires, ont construit des navires spécialisés et signé des accords avec les compagnies aériennes, Cordon (1992) et Singh (2002). Ces investissements sont inaccessibles aux acteurs africains. Deuxièmement, les centrales d'achat européennes préfèrent traiter avec de grands producteurs et exportateurs voire exploiter elles-mêmes d'importantes surfaces sur place pour assurer un rendement, une sécurité d'approvisionnement, des prix et une qualité constante, Okado (2001). Enfin, les règles très strictes d'hygiène, de qualité et de traçabilité émises par l'Union Européenne compliquent l'entrée des producteurs locaux dans ce commerce.

Contrairement aux produits tempérés, les produits agricoles africains « traditionnels », n'intéressant pas les chaînes de distribution européennes, n'ont pas trouvé de débouchés et leur commerce est resté confiné à quelques magasins ethniques, destinés à la diaspora africaine.

2 Des conséquences sociales et environnementales à plusieurs échelles

Ce commerce engendre différentes conséquences sociales et environnementales, au niveau africain et mondial.

La production de fruits et légumes frais et de fleurs coupées à destination de l'Europe bénéficie peu aux populations où sont implantées ces cultures. En effet, comme expliqué plus haut, ce commerce étant contrôlé par les entreprises européennes, les petits exploitants locaux doivent passer par des intermédiaires afin de commercialiser leur production. Ces derniers font

pression et profitent de leur méconnaissance du marché pour les payer au minimum, notamment en minimisant la qualité de leur production. Les producteurs locaux sont également dépendant des pays occidentaux pour l'accès aux semences de qualité et au matériel moderne de culture du fait de la pénurie de produits sur place, Okado (2001). Les normes de l'Union Européenne les contraignent à des investissements importants, qu'ils sont incapables d'assurer, ce qui les exclut progressivement du marché, Okado (2001). De plus, l'Afrique dépend pour ses exportations de la valeur des devises étrangères, Defra (2007), ce qui la rend vulnérable ; une étude de l'évolution de la valeur des fruits et légumes importés entre 1995 et 2007 démontre que leur prix a baissé d'environ 10% durant cette période, Eurostat (2008). Enfin, du fait de la forte concentration au sein de quelques groupes, cette industrie a peu de liens et d'effet d'entraînement sur le reste de l'économie locale, les bénéficiaires principaux de ce commerce sont les investisseurs européens, Gioè (2006).

Les conséquences de l'introduction de ces cultures exotiques pour l'environnement local sont également néfastes, les populations maîtrisent mal l'utilisation des produits phytosanitaires et n'ont pas accès aux produits les plus modernes, ce qui entraîne de graves pollutions. De plus, la présence de ces produits dans les aliments contrevient aux normes européennes, ce qui menace l'existence même de ce commerce, Okado (2001). L'irrigation d'une partie de ces cultures concurrence les autres utilisations de l'eau, ressource cruciale dans cette partie du monde. La promotion de ces cultures d'exportation au dépend de la production traditionnelle et du marché intérieur pourrait aggraver les problèmes alimentaires dans certains lieux précarisés, cette industrie occupe déjà 28 millions d'hectares, soit près de 10% des terres cultivées africaines, FAOSTAT (2008).

Enfin, le commerce de produit frais à destination de l'Union Européenne, et particulièrement sa fraction aérienne génère d'importantes émissions de gaz à effet de serre. Si le transport maritime représente 90% de ce commerce en volume pour 10% au transport aérien, ces proportions s'inversent lorsqu'on traduit ces chiffres en émissions de gaz à effet de serre (voir figure 2). En effet, selon les chiffres de l'Atlas de l'alimentation dans le monde, Millstone & Lang, (2005), une tonne transportée par bateau produit 13 grammes de CO₂ par kilomètre alors que ce chiffre atteint 799 grammes pour le transport aérien. Du fait de la non prise en compte financière de ces émissions, c'est cependant le transport aérien qui a connu la plus forte croissance, + 65% entre 2000 et 2007 pour le transport de produits tempérés. Cette évolution sera insoutenable à moyen et long terme si l'on veut réduire nos émissions de gaz à effet de serre et limiter ou ralentir le changement climatique.

Conclusions

Le commerce de fruits et légumes tempérés et de fleurs coupées cultivés en Afrique et à destination de l'Union Européenne connaît une croissance remarquable depuis une vingtaine d'année. Cette évolution bénéficie principalement, et de façon croissante, aux distributeurs et exportateurs européens. Au contraire, les populations africaines sont marginalisées et subissent le développement de cette industrie peu durable, qui concurrence

leur production pour l'accès aux ressources et dégrade leur environnement. Il s'agit d'une forme de néo-colonialisme de la part des européens, qui exploitent les ressources locales, eau, climat favorable, terre, main-d'œuvre bon marché, sans y créer de richesse ou y développer une base industrielle locale.

Au niveau global, ce commerce, et particulièrement sa partie aéroportée, participe à l'augmentation des rejets de gaz à effet de serre et son évolution récente est préoccupante. Ce commerce, basé entre autre sur la faible prise en compte des coûts environnementaux du transport, pourrait également renforcer la dépendance économique du Sud vis à vis du Nord et sa situation de primo-exportateur.

S'il ne faut pas exclure l'Afrique et ses productions agricoles du système économique mondial, il existe des modalités d'insertion qui seront plus profitables à ses habitants et durables au niveau environnemental. On peut, entre autre, penser à la promotion du commerce des aliments traditionnels africains, en valorisant la production des petites exploitations et la transformation locale de ces aliments.

Références

- Cordon J. M. (1992): L'hémisphère sud et la mondialisation des échanges de fruits tempérés, Option Méditerranéennes, n°19, p 45-64.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) (2007): Overview of the benefits and carbon costs of the African horticultural trade with the UK, Food Chain Economic Unit, London, 12 p.
- EUROSTAT, statistiques détaillées du commerce extérieur, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>, page consultée le 26/07/08
- FAOSTAT, Tradestat, statistiques du commerce, <http://faostat.fao.org/site/537/DesktopDefault.aspx?PageID=537>, page consultée le 26/07/08.
- Freidberg S. (2003): Cleaning up down South: supermarkets, ethical trade and African horticulture. Social & Cultural Geography, vol 4 n°1, p 27-43.
- Gioè M. (2006): Can Horticultural Production Help African Smallholders to Escape Dependence on Export of Tropical Agricultural Commodities. Crossroads, vol 6 n°2, p 16-65
- Millstone E & Lang T. (2005): Atlas de l'alimentation dans le monde, éditions autrement.
- Okado M. (2001): Légumes et fruits frais de spécialité et hors saison. Leçons tirées du secteur horticole kenyan. Conférence des Nations Unies sur le développement, Séminaire Africain Francophone sur la Diversification et le Développement du secteur Horticole Bamako, Mali, 13-15 Février 2001, 47p.
- Singh B. P. (2002): Nontraditional Crop Production in Africa for Export, in Trends in new crops and in new uses, Jules Janick and Anna Whipkey (eds.). 2002. ASHS Press, Alexandria, VA, p 86-92
- World Bank (2007): Opportunities and challenges for developing high-value agricultural exports in Ethiopia, Background report, 77 p.

Figure 1 : Fruits, légumes et fleurs exportés de l'Afrique vers l'Europe, par air et par mer, en 2007

Figure 1: Fruit, vegetables and cut flowers exported from Africa to UE by air and sea, in 2007

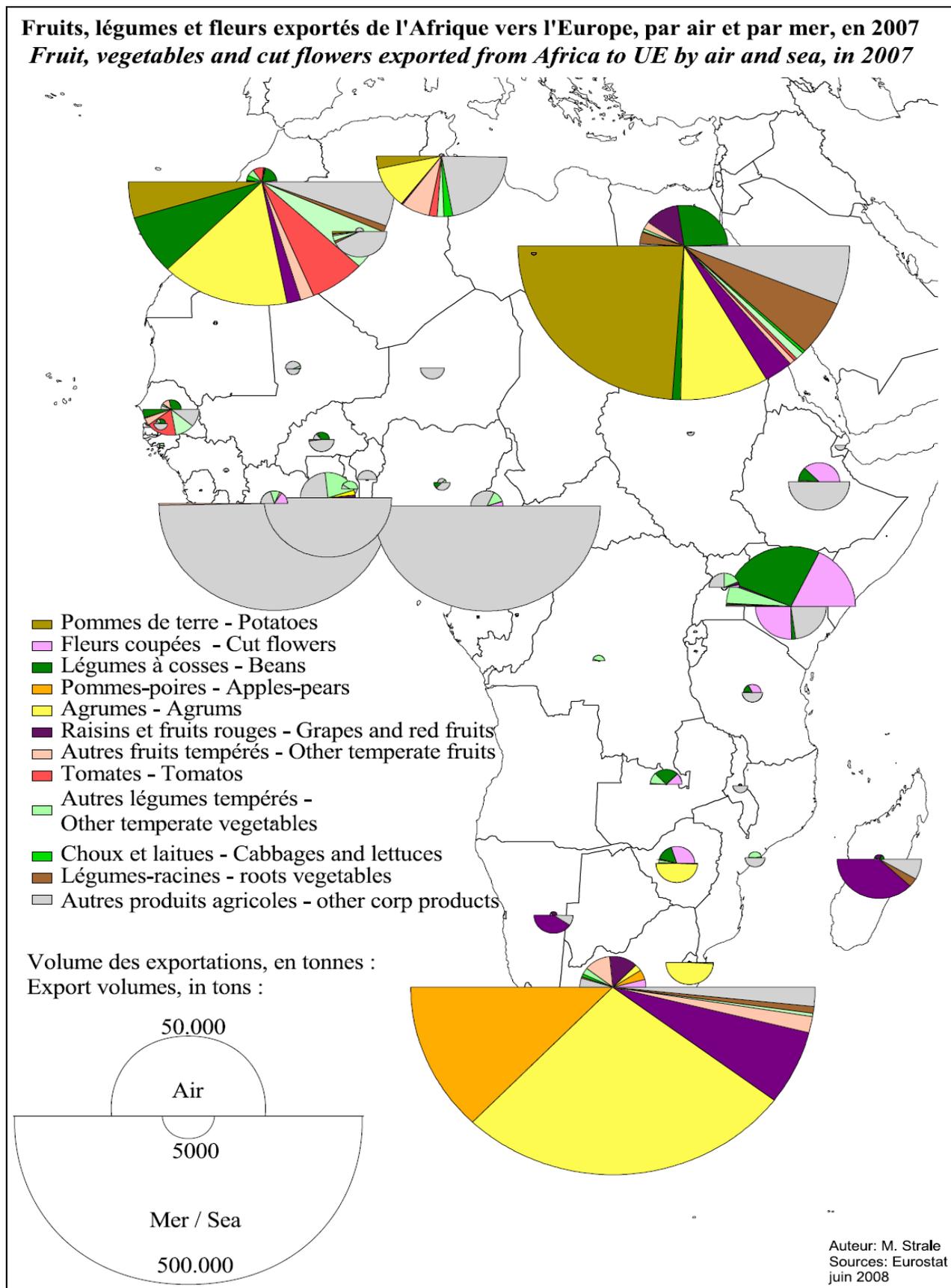
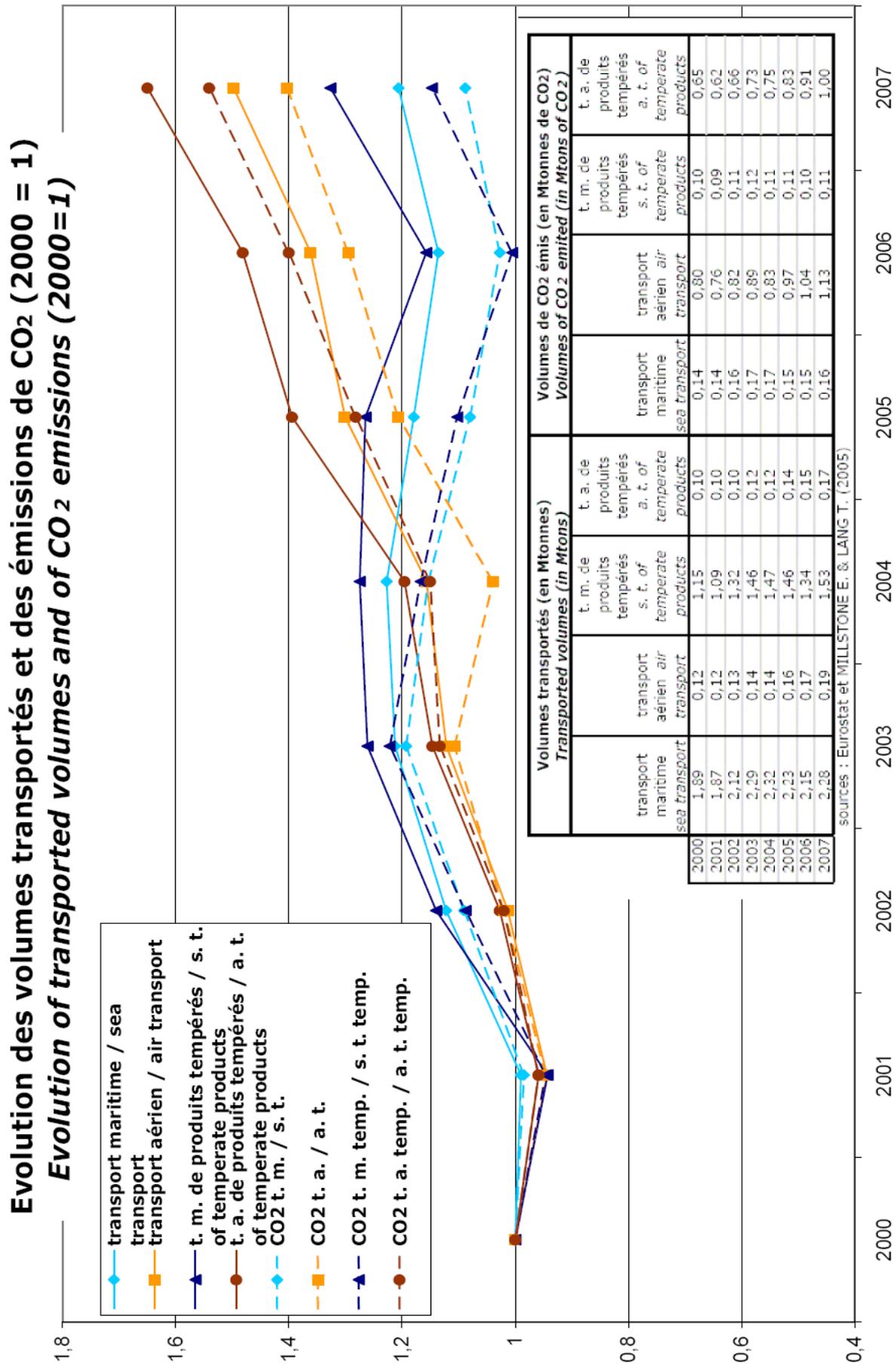


Figure 2 : Evolution des volumes transportés et des émissions de CO2
 Figure 2: Evolution of transported volumes and of CO2 emissions



Mesure des émissions de VUL avec un système embarqué à Blida

M. Boughedaoui ^{a,*}, S. Chikhi ^a, N. Driassa ^a, R. Kerbachi ^b, R. Vidon ^c, R. Joumard ^c

^a Université de Blida, FSI, Dépt Chimie Industrielle, BP 270, 09000 Blida, Algérie

^b Ecole Nationale Polytechnique, Département Génie de l'Environnement, BP 182, Avenue Hassan Badi 16200 EL Harrach, Alger, Algérie

Fax 213 25 41 07 81 email : boughedaoui@wissal.dz

^c INRETS-LTE, case 24, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France

Abstract

Un échantillon d'une dizaine de véhicules essence et diesel de différentes âges en exploitation et portant une charge de 460 kg sont testés sur un circuit représentatif de la ville de Blida suivant le flux de circulation. Le dispositif d'échantillonnage (mini CVS) des gaz d'émission ainsi que les analyseurs sont embarqués à bord du véhicule. Les essais ont duré environ un mois pour effectuer plus de 480 km sous différentes conditions réelles de circulation. Les vitesses moyennes pratiquées en ville sont de 16.1 km/h avec des accélérations faibles voisines de 0.60 m/s². Au cours de chaque essai, la cinématique est enregistrée ainsi que l'analyse des polluants émis CO, CO₂, NO_x et HCT. Les résultats permettent d'accéder au taux d'émission de chaque catégorie de véhicule et l'influence de la vitesse pour les véhicules essence et diesel pour les polluants respectifs. Les paramètres influents tels que l'âge des véhicules et leurs états d'entretien et de maintenance sont discutés. Une comparaison des résultats obtenus est faite avec les données d'ARTEMIS pour des véhicules similaires.

Key words: *Light Duty Vehicles, unit emission, gas pollutant, GHG, speed, fuel, load, on board measurement, real driving conditions, hot start, cold start, developing country, Algeria*

1. Introduction

Les émissions polluantes des véhicules en circulation constituent non seulement un problème de qualité de l'air dans les villes tel qu'Alger (Mayer, 1999 ; Kerbachi, 2003, 2006 ; Boughedaoui, 2004) mais aussi une source en constante

croissance de gaz à effet de serre notamment dans les PED (Schafer, 2000 ; Sausen, 1998 ; Metz, 2005).

Le développement de facteurs d'émission unitaires spécifiques basé sur des données nationales du pays est très encouragé par l'IPCC (IPCC GPG, 2000) afin de réduire les incertitudes lors de la réalisation d'inventaire d'émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques (UNFCCC).

Les émissions unitaires de véhicules deviennent une donnée incontournable pour toute comparaison des niveaux d'émission et tout calcul d'inventaire où la recherche de gisements de réduction des émissions devient très importante dans le cadre du protocole de Kyoto.

L'utilisation de facteurs d'émission unitaires par défaut des différentes bases de données internationales (IPCC, CORINAIR, COPERT, ARTEMIS, MOBILE, etc.) ne sont pas représentatifs de la réalité des émissions nationales des pays en développement et sont la cause de surestimation ou sous estimation des émissions de polluants.

Plusieurs méthodologies sont utilisées pour caractériser les émissions unitaires des véhicules. Le CVS est utilisé sur banc à rouleau au laboratoire (Joumard, 1987), pour la mesure des émissions par la reproduction d'un cycle cinématique représentatif des situations réelles ou normalisé.

La fiabilité des méthodologies de mesure embarquée est démontrée par des essais comparatifs au laboratoire et sur routes (Van Ruymbeke C., 1993 ; Michal Vojtisek-Lom cited by Cadle S.H. et al, 2003).

En Algérie, le véhicule utilitaire léger est en générale très utilisé avec un kilométrage annuel moyen de 38 000 km pour la classe de véhicule d'âge inférieur à 5 ans. Ce kilométrage annuel décroît très lentement en fonction du temps par rapport aux pays européens (Hickman, 1999).

Le développement d'ARTEMIS qui est une base de données européenne regroupant les données de mesure européennes des émissions en provenance de différents laboratoires inclue et traite la majorité des marques et modèle existant en Algérie. Ces marques et modèles de véhicules utilitaires roulant en Algérie et figurant dans ARTEMIS répondent toutefois à des normes et des conditions de roulage différentes de celles des véhicules européens. Ceci permet de réaliser des études de comparaison et d'effectuer des analyses sur des véhicules de même origine soumis à des usages et environnements différents.

L'objectif de ce travail est de mesurer les facteurs d'émission unitaires de véhicules utilitaires légers très largement utilisés en Algérie où les VUL représentent 21% du parc national qui totalise plus de 3 millions de véhicules. La flotte de véhicules utilitaires légers roulant est à **79%** de marque européenne et

seulement 17% d'origine asiatique. Selon les statistiques de 2005, l'âge du parc statique des VUL est de 17.8 et 15.4 ans respectivement à Blida et Alger.

L'enquête sur le trafic routier effectuée en 2005 révèle que les VUL représentent 11% et 15% du flux de véhicules en circulation dans les villes d'Alger de Blida dont l'âge moyen est 9.27 et 10.15 ans respectivement.

2. Méthodologie

Le principe du mini-CVS est considéré comme un système de recherche similaire mais réduit et simplifié du système CVS. Il permet de mesurer directement les émissions d'un véhicule en circulation, en s'affranchissant des étapes de construction de cycles de conduites respectifs.

Le système de prélèvement est embarqué à bord du véhicule et est relié au tuyau d'échappement.

Les gaz d'échappement rejetés par le véhicule passent dans un embout sous forme de cône attaché au pot d'échappement, l'embout est formé de petits tubes parallèles (112 tubes) et seul les gaz d'un tube sont amenés à la chambre de dilution, les autres faisceaux sont rejetés à l'extérieur. La fraction de gaz ramenée est inversement proportionnelle au nombre de tubes. On admet comme hypothèse qu'à ce stade, le débit primaire est divisé en 112 débits égaux.

Cette méthode permet d'obtenir les données d'émissions polluantes d'un véhicule en des lieux dont les conditions spécifiques sont difficilement reproductibles au laboratoire, il élimine aussi les problèmes et les incertitudes posés par la reproduction des conditions réelles de conduite aux laboratoires comme l'étalonnage du banc, le refroidissement du moteur, l'état de la chaussée, l'environnement réel du véhicule, la température ambiante, l'ensoleillement, et surtout la représentativité des cycles de conduite. Le montage expérimental embarqué sur véhicule est représenté en figure 1.

L'analyse est effectuée par rayonnement infrarouge pour le monoxyde et le dioxyde de carbone (CO/CO₂), par chimiluminescence pour les oxydes d'azote (NO_x) et ionisation de flamme (FID) pour la détection des hydrocarbures totaux (HCT).

Un échantillon de dix véhicules a été sélectionné du parc roulant algérien avec 2 véhicules essence et 8 véhicules diesel de puissances équivalentes. Les essais sont effectués sur les véhicules sans aucune maintenance ni entretien du véhicule au préalable. La campagne de mesure s'étale de septembre à novembre 2005. Le circuit est choisi pour représenter les artères de la ville de Blida les plus fréquentées. Ce circuit est sélectionné sur la base d'enregistrement cinématique de plus de 1000 Kms effectué par un véhicule suiveur et noyé en cette ville. Le nombre total d'essai effectué en milieu urbain est de 53 essais pour parcourir plus

de 480 kms. Chaque véhicule est utilisé pendant trois jours en moyenne pour rouler avec des essais variant selon le véhicule de 5 à 13 essais au total en milieu urbain et des essais sur route nationale et autoroute sur des circuits de longueur de 10 à 15 Kms pour chaque véhicule. Les véhicules essence ne sont pas équipés de catalyseurs et les véhicules diesel ne sont pas équipés de filtre à particules ni de catalyseurs d'oxydation.

3. Résultats

Plusieurs essais sont effectués avec le même véhicule et on considère la moyenne des essais.

Les écarts types relatifs sont de l'ordre de 31% pour l'ensemble des essais et des polluants.

Ces écarts types sont en grande partie dus aux différences des cinématiques de chaque essai qui varie partiellement de l'un à l'autre. Les moyennes pondérées par la vitesse sont calculées afin de tenir compte des différentes phases de roulage et avoir une meilleure représentativité de la moyenne des émissions. Les facteurs d'émission moyens s'élèvent pour l'ensemble de l'échantillon des véhicules diesel à 153 g/km pour le CO₂, 0.6 pour le CO, 0.06 pour le HCT et 0.66 pour les NOx. Pour les véhicules essence, on mesure en moyenne 121 g/km pour le CO₂, 11.14 pour le CO, 1.2 g/km pour le HCT et de 1.3 g/km pour le NOX. Les paramètres influents dans notre cas sur les émissions sont nombreux tels que les conditions locales de circulation (vitesse et accélération, cinématique), modèle et âge du véhicule, l'entretien et maintenance du véhicule, le carburant, la charge et le mode de conduite.

A travers les résultats obtenus on peut répartir cet échantillon de véhicules en trois classes : la classe 1993-1996, la classe 2000-2002 et la classe 2004. Afin de situer les niveaux d'émission et comme les normes de ces véhicules ne sont pas connues, on s'est référé à la base de données européenne ARTEMIS. L'extraction de cette base de données d'émissions de véhicules de la classe NI-1 dont la masse est inférieure à 1305 kg permet une première comparaison avec les émissions des véhicules utilisés dans notre échantillon. Les véhicules d'ARTEMIS ont une charge qui varie de 21 à 28% pour les véhicules diesel et de 11 à 13% pour les véhicules essence. Notre charge est plus importante et avoisine 43% pour une catégorie et 60% pour la deuxième catégorie de véhicules.

En considérant les émissions de CO₂ des véhicules diesel, on constate que généralement tous les véhicules ont des émissions comprises entre les émissions des véhicules d'ARTEMIS euro 1 et euro 2 ; les plus âgés se rapprochant plus de la norme euro 1 et les plus récents se rapprochant plus de euro 2. Il reste toutefois à vérifier par des essais à vide si l'effet de charge joue un rôle important. Les émissions de CO et HCT augmentent avec l'âge des véhicules. Les deux polluants décroissent avec la vitesse mais restent élevées pour les vieux véhicules dépassant

les niveaux de 1 g/km pour le CO et 0.1 g/km pour le HCT. Les émissions de NOX varient de 0.19 à 1.92 en restant proches des émissions d'ARTEMIS euro 1 et euro 2. Ces faibles émissions sont essentiellement dues aux faibles accélérations constatées lors des essais à cause de l'environnement routier et de la forte charge du véhicule qui ne facilite pas les fortes accélérations.

Les émissions des véhicules essence présentent des émissions de CO₂ inférieure à 162 g/km avec une moyenne de 120.8 g/km qui reste très inférieure devant les véhicules d'ARTEMIS pré euro qui se caractérisent par des niveaux supérieurs à 180 g/km pour toutes les vitesses. Par contre les émissions de CO varient de 21 à 6.5 g/km et ont une moyenne de 11.14 g/km, elles décroissent rapidement avec la vitesse et augmentent de nouveau avec la valeur minimale qui est observé à la vitesse de 55 km/h. ces niveaux restent supérieures aux émissions d'ARTEMIS qui accusent des niveaux d'émissions moyens de 10.44 g/km. Les émissions de HCT s'élèvent en moyenne à 1.2 g/km et sont proches des émissions d'ARTEMIS. Les émissions de NOX croissent proportionnellement avec la vitesse varient de 0.55 à 3.21 avec un niveau moyen de 1.2 g/km mais restent en raison des faibles accélérations de 0.61 m/s² pratiquées inférieures aux valeurs d'ARTEMIS qui varient de 1 à 3 g/km selon la vitesse. Les facteurs d'émissions unitaires obtenus sur l'échantillon testé reflètent globalement les niveaux d'émission des VUL. L'échantillon étant réduit, l'interprétation reste limité à cet échantillon en prenant garde de ne pas généraliser au parc national global. Cependant plusieurs informations et conclusions peuvent être tirées de ces mesures en tenant compte de certaines données du parc national, du comportement des conducteurs et du marché de l'automobile en Algérie.

4. Discussion et conclusion

Les mesures des émissions unitaires sont effectuées sur des véhicules utilitaires légers diesel et essence en charge en Algérie. Le montage expérimental embarqué est testé au laboratoire et en circulation réelle donnant des résultats concluants. La validation des mesures est effectuée par des essais utilisant des gaz étalons. Les résultats de mesure des émissions unitaires obtenus avec le système embarqué ont permis de déterminer les émissions unitaires des VUL diesel et essence roulant en Algérie. Ces émissions sont comparées aux émissions de véhicules équivalents roulant en Europe. L'une des difficultés apparues lors de cette comparaison est l'absence de norme pour les véhicules algériens où la réglementation de fabrication ou d'importation de véhicule n'exige pas une norme d'homologation. Cependant, ces essais de comparaison ont l'avantage de mettre en évidence en partie l'écart dû aux normes de construction et l'écart de technologie entre les véhicules roulant en Europe et dans les pays en développement pour des modèles et des marques de véhicules identiques.

Références

- 1- Chan T.L., Z. Ning, C.W. Leung, C.S. Cheung, W.T. Hung, G. Dong, On road remote sensing of petrol vehicle emissions measurement and emission factors estimation in Hong Kong, *Atmospheric Environment*, 38, 2004, 2055-2066
- 2- De Vlioger I, On board emission and fuel consumption measurement campaign on petrol driven passengers' cars, *Atmospheric Environment*, 31, 22, 3753-3761
- 3- Hickman, A.J., 1999, MEET – Methodology for calculating transport Emissions and energy Consumption, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, pp. 32 <http://www.inrets.fr/infos/cost319/>
- 4- Holmen B.A., Niemeier D.A., Characterizing the effects of driver variability on real world vehicle emissions, *Transportation Research, Part D, Transport and Environment*, 3 (2), 117-128, 1998
- 5- Joumard R., Michel André, Robert Vidon, Patrick Tassel, 2003. Characterizing real unit emissions for light duty goods vehicles, *Atmospheric Environment*, 37, 5217-5225
- 6- Joumard R., Robert Vidon, Patrick Tassel, Émissions unitaires de polluants des véhicules utilitaires légers, Rapport n° LTE 0101, Avril 2001
- 7- Lenaers G., On board real life emission measurements on a 3 way catalyst gasoline car in motor way-, rural- and city traffic and on two Euro-1 diesel buses, *The Science of the Total Environment*, 189/190, 1996, 139-147
- 8- Markewitz K, Joumard R., Emissions unitaires de polluants des petits véhicules utilitaires, Rapport ARTEMIS 325, Rapport INRETS n°LTE 0508, 2005
- 9- ONS, Données statistiques du parc automobile, Alger, 2005 (www.ons.dz)
- 10- Pierson W.R. et al, Real automotive emissions – Summary of studies in the Fort McHenry and Tuscarora mountain tunnels, *Atmospheric Environment*, 30, 12, 1996,, 2233-2256
- 11- Robert Joumard, Michel André, Robert Vidon, Patrick Tassel, 2003. Characterizing real unit emissions for light duty goods vehicles, *Atmospheric Environment*, 37, 5217-5225
- 12- Robert Joumard, Robert Vidon, Patrick Tassel, Émissions unitaires de polluants des véhicules utilitaires légers, Rapport n° LTE 0101, Avril 2001
- 13- Samaras Z. & L. Ntziachristos (1998): Average hot emission factors for passenger cars and light duty trucks. LAT report, n°9811, Thessaloniki, Greece, 112 p.
- 14- Steven H. Cadle, Robert A. Gorse, Brent K. bailey, Douglas R. Lawson, real-World vehicle emissions: A summary of the twelfth coordinating research council on-road vehicle emissions workshop, *Journal of Air & waste management Association*, 53, 152-167, February 2003
- 15- Van Ruymbeke C., Mise au point d'une méthode de mesure des émissions polluantes automobiles applicable au cas de Mexico, Thèse de doctorat, Université de Savoie, France, 1991.

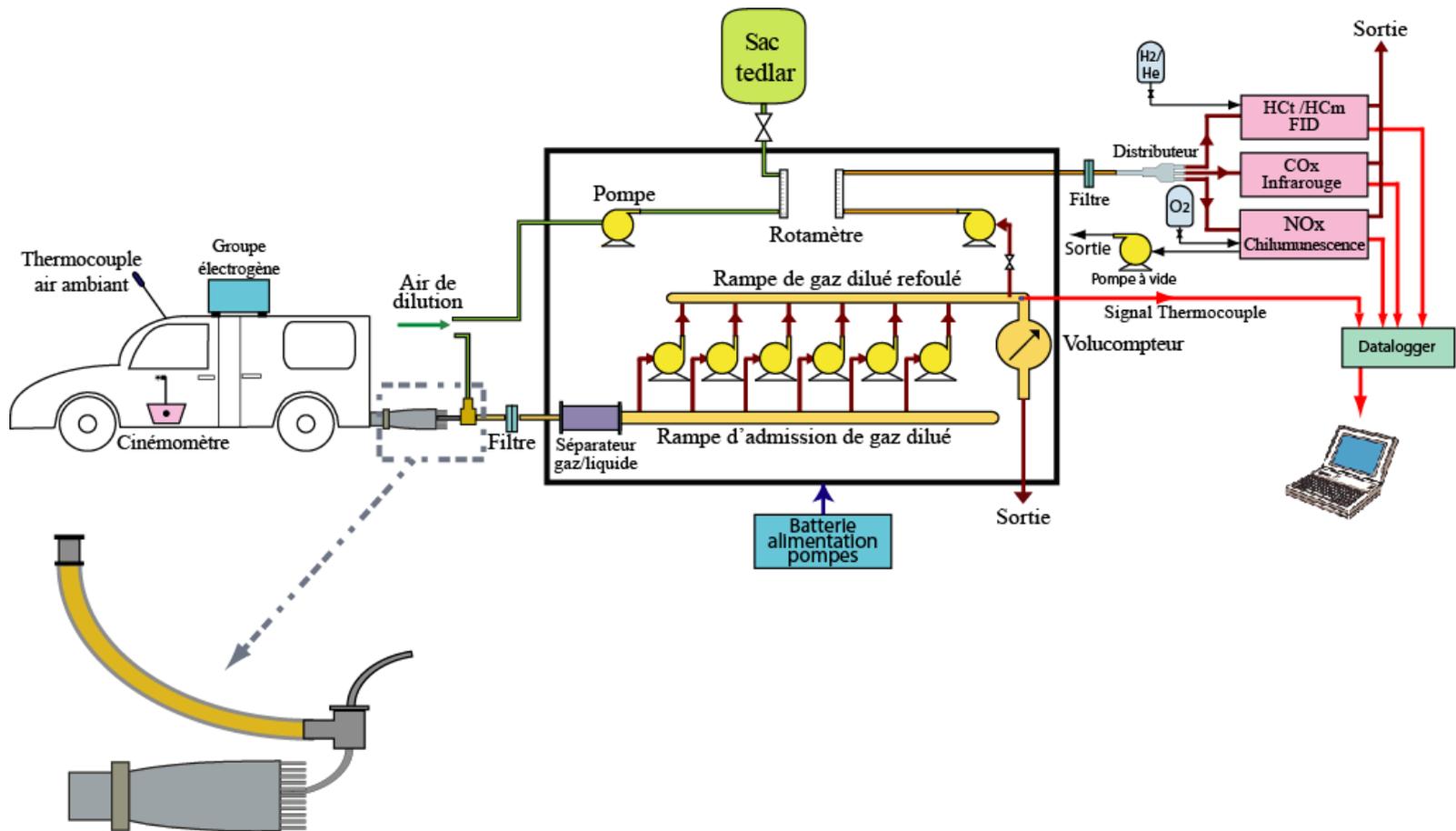


Figure 1 : Schéma du montage expérimental de prélèvement et d'analyses embarqué à bord du véhicule

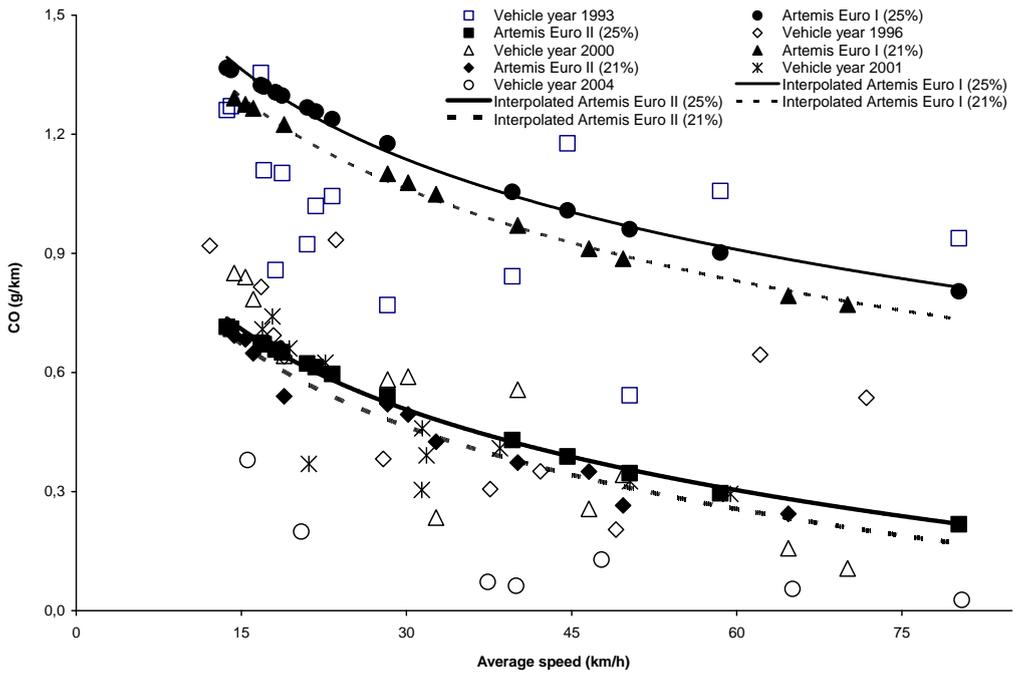


Figure 2 : CO unit émissions unitaires de CO des véhicules diesel comparé avec Artemis

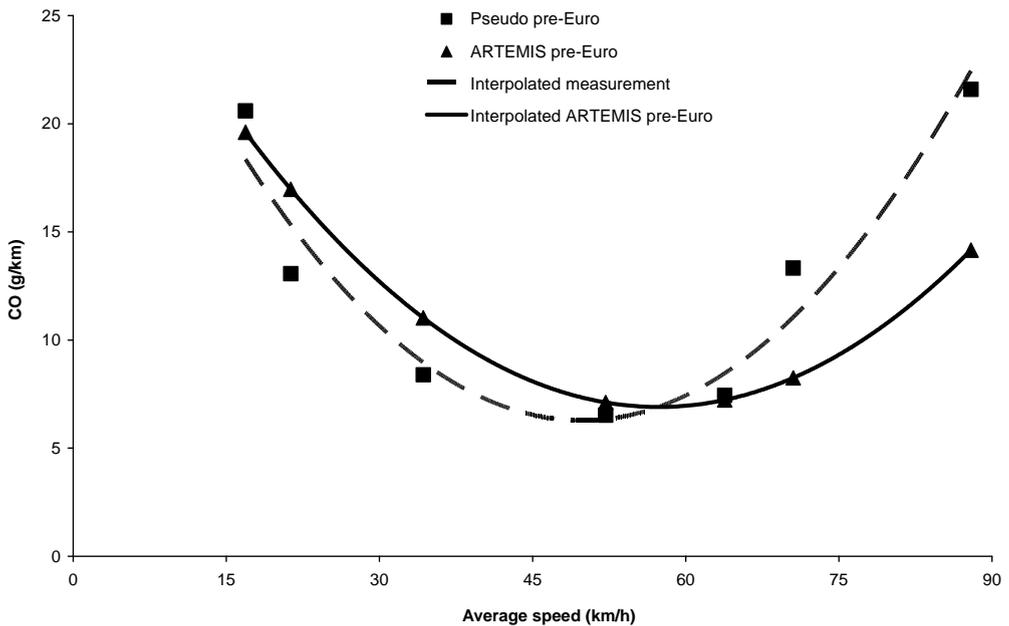


Figure 3: Emissions de CO des véhicules pseudo Pre-Euro essence comparée à Artemis

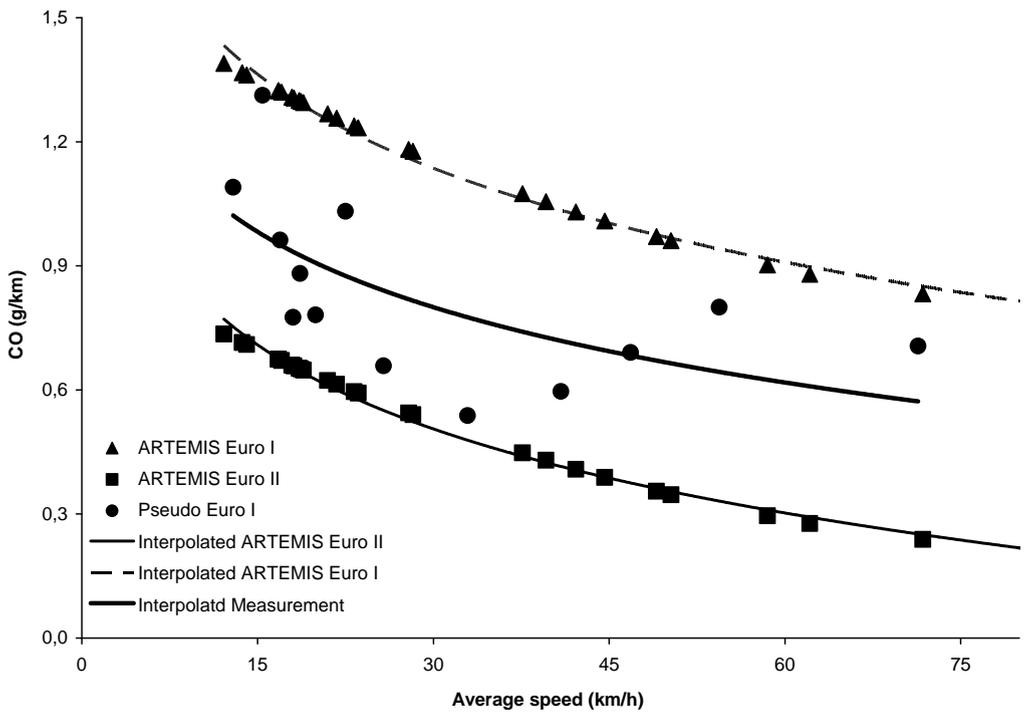


Figure 4: Emissions de CO des véhicules pseudo Euro I diesel comparée à Artemis

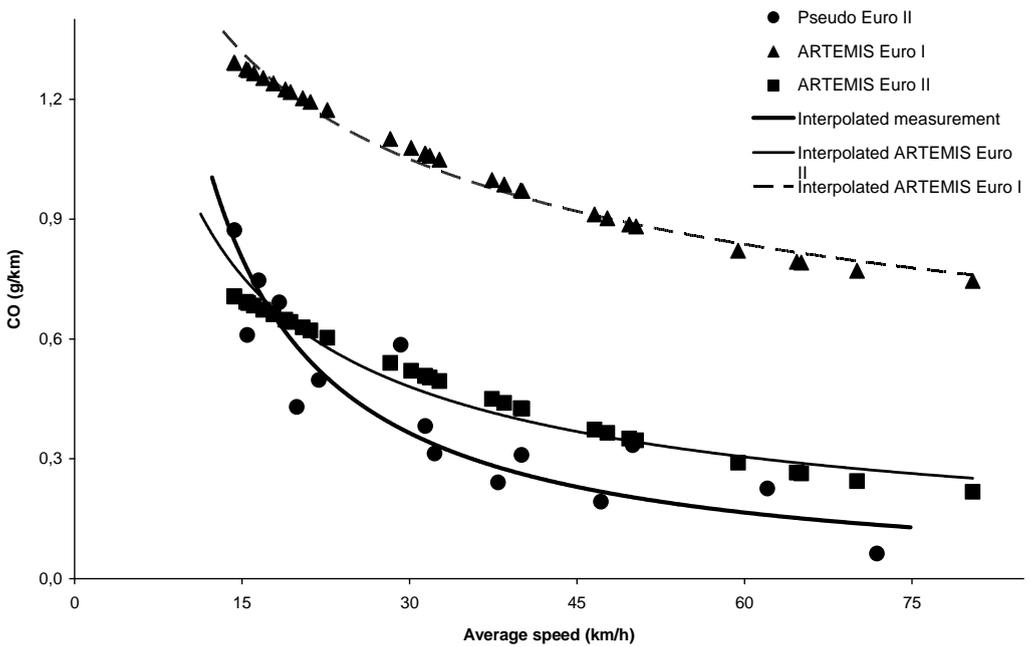


Figure 5: Emissions de CO des véhicules pseudo Euro II diesel comparée à Artemis

Table 1: Comparaison des ratios d'émission de polluant entre les mesures et Artemis (%)

Fuel	Mesures			Artemis		
	Pseudo standards	CO/CO₂	HCT/CO₂	CO/CO₂	HCT/CO₂	EU standards
Essence	Pseudo Pre-Euro	4,7 – 17,8	0,9 - 2,6	1,7 - 20	0,28 - 1,2	Pre-Euro
Gasoil	Pseudo Euro I	0,28 - 1,23	0,016 - 0,302	0,14 - 0,4	0,005 - 0,087	Euro I
	Pseudo Euro II	0,04 – 2,6	0,007 - 1,195	0,10 - 0,5	0,016 - 0,2	Euro II

Table 2: Moyenne et écart type des émissions des véhicules testés

Fuel	Classe de Véhicule	Emission moyenne (g/km)					Ecart type (%)					
		CO ₂	CO	HCT	NO _x	Consommation	CO ₂	CO	HCT	NO _x	Moyenne pour tous les polluants	Consommation
Essence	Moyenne pseudo Pre-Euro	123,4	11,99	1,42	1,14	57,4	16	32	25	31	26	24
Gasoil	Moyenne pseudo Euro I	143,5	0,68	0,08	0,59	55,0	18	59	65	19	40	21
	Moyenne pseudo Euro II	167,4	0,49	0,05	0,48	62,3	11	25	39	30	26	23

Simulation numérique de la ventilation d'un tunnel par des rideaux d'air

Monia Aloui¹ Hatem Laatar¹ Ali Belghith² Patrick Le Quere³

(1) Faculté des Sciences de Bizerte, Département de Physique, 7021 Jarzouna Tunisie

(2) Faculté des Sciences de Tunis, Département de physique, 1060 Tunis, Tunisie

(3) LIMSI-CNRS, BP 133, 91403 Orsay Cedex, France

Hatem.laatar@fsb.rnu.tn

1. Introduction

La qualité de l'air en milieu urbain dépend de façon déterminante des divers rejets gazeux et de leur dispersion dans le proche environnement caractérisé par une géométrie complexe. Le contrôle de la qualité de l'air au voisinage des tunnels nécessite la maîtrise de la prédiction des écoulements d'air et des phénomènes de transport et de dispersion d'effluents polluants.

Dans ce travail, on se propose de mettre en œuvre une approche basée sur la simulation des grandes échelles (Large-Eddy Simulation, LES) pour l'étude de la ventilation des tunnels par des rideaux d'air placés au niveau du toit. Cette méthode permet de simuler sur un maillage modéré, des écoulements turbulents instationnaires et à grand nombre de Reynolds, tout en conservant le caractère dynamique de l'écoulement.

L'objectif de cette étude est l'évaluation de l'efficacité de la ventilation artificielle d'un tunnel et l'amélioration de la qualité de l'air au niveau des piétons par des rideaux d'air. Deux scénarios permettant la réduction des taux de pollution à l'intérieur d'un tunnel ouvert sur le côté sont étudiés : cas d'un rideau d'air en amont de la source et cas de deux rideaux d'air un en amont de la source et l'autre au milieu du tunnel.

Le problème du transport et de la dispersion de polluants au voisinage d'un tunnel semi-ouvert a fait l'objet de très peu d'études expérimentales et numériques. Dabberdt et al. (1997) [1], Laatar et al. (2002)[2] et Brown et al. (2003)[3].

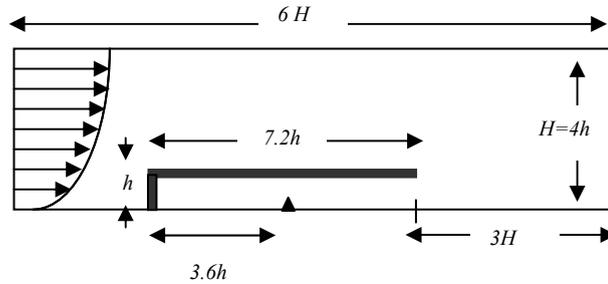
Dans ce travail, nous allons considérer la même configuration géométrique que Brown et al. mais aérée mécaniquement par des rideaux d'air placées en amont et au dessus de la source.

2. Configuration géométrique

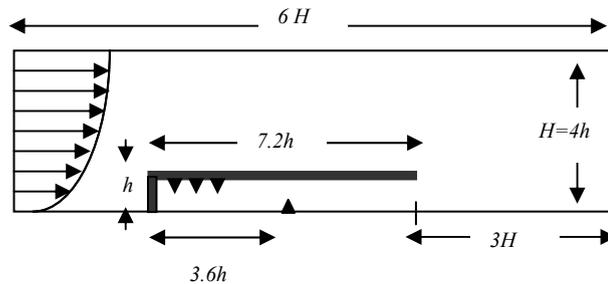
Le domaine d'étude est rectangulaire de hauteur $H=4h$ et de longueur $L=6H$ (h étant la hauteur du tunnel). A l'entrée du domaine, on applique un profil de vitesse en loi de puissance avec un exposant $n=0.18$ telle que $u(z)=(z/0.75)^{0.18}$. La source S est localisée sur l'axe du tunnel, elle émet de manière constante et continue (Fig.1). A l'entrée du domaine la concentration est supposée nulle alors que sur les autres frontières une condition de gradient nul est imposée.

Dans la suite, trois scénarios sont étudiés : un tunnel sans système d'aération (cas 1), un tunnel avec un seul rideau d'air en amont de la source (cas 2) et un système à deux rideaux d'air un en amont de la source et l'autre au dessus de celle-ci (cas 3).

Cas1



Cas2



Cas3

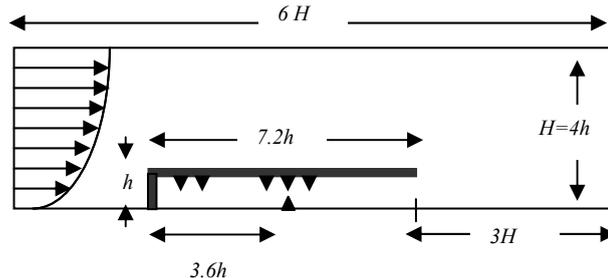


Figure 1 : Configurations géométriques

Le maillage utilisé est uniforme et composé de 130*130 nœuds. Le pas de temps est égal à $2 \cdot 10^{-3}$. Le nombre de Reynolds, basé sur la vitesse moyennes à l'entrée U et la hauteur h du tunnel est égal à $Re=33 \cdot 10^4$. Les quantités moyennes dans le temps sont calculées une fois que le régime asymptotique est atteint. Cette opération nécessite un temps de calcul adimensionnel $T=300T_{ref}$.

3. Etude numérique

L'écoulement à l'intérieur et autour du tunnel est régi par les équations de Navier-Stokes instationnaires. L'équation d'advection-diffusion est introduite pour déterminer le champ de concentration.

Pour appliquer l'approche LES à ce problème, on commence par filtrer ces équations qui peuvent se mettre sous la forme:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} \\ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial \pi}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{1}{Re} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \\ \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{c} u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{1}{Re S_c} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial q_j}{\partial x_j} + S_0 \end{cases}$$

Les paramètres adimensionnels qui apparaissent dans ce système sont :

- le nombre de Reynolds ($Re = \frac{U_o h}{\gamma}$)
- le nombre de Schmidt ($S_c = \frac{\gamma}{D}$)
- la pression modifiée $\pi = \bar{p} + \frac{1}{3} \tau_{ii}$

γ et D sont respectivement la viscosité cinématique et la diffusivité massique.

Les termes de sous-maille τ_{ij} et q_j sont modélisés par l'introduction de la viscosité de sous-maille γ_t et la diffusivité de sous-maille D_t telles que :

$$q_j = D_t \frac{\partial \bar{c}}{\partial x_j} \text{ et } \tau_{ij} = 2\gamma_t S_{ij} \text{ où } S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \text{ est le tenseur des taux de déformation}$$

du champ filtré. La diffusivité et la viscosité de sous-maille sont liées par le nombre de Prandtl : $Pr = \frac{\gamma_t}{D_t} = 0,6$

La fermeture du système sera réalisée après le choix d'un modèle de sous-maille. Dans la suite, le modèle d'échelles mixtes de Ta Phuoc (1994)[4] et de Sagaut (1995)[5] sera utilisé. La viscosité turbulente s'écrit alors sous la forme :

$$\gamma_t = C_m |\bar{S}|^\alpha (q_c^2)^{\frac{(1-\alpha)}{2}} \Delta^{(1+\alpha)} \quad \text{avec } \alpha = 0,5 \text{ et}$$

$C_m = 0,06$. La taille du filtre Δ est prise égale à $\Delta = \sqrt{\Delta_x \Delta_z}$ avec Δ_x et Δ_z sont les dimensions de la maille respectivement dans la direction horizontale x et verticale z . Le taux de cisaillement $|\bar{S}| = \sqrt{\frac{1}{2} S_{ij}(\bar{u}) S_{ij}(\bar{u})}$ et l'énergie cinétique q_c^2 sont obtenu grace au principe de similarité d'échelles et par application d'un double filtrage : $q_c^2 = \frac{1}{2} (\bar{u} - \hat{u})^2$

Le filtre explicite utilisé, est obtenu par une moyenne pondérée locale :

$$\hat{u}_i = \frac{1}{2} \bar{u}_{i-1} + \frac{1}{2} \bar{u}_i + \frac{1}{4} \bar{u}_{i+1}$$

Le modèle de sous-maille d'échelles mixtes est un modèle auto-adaptatif car il s'annule automatiquement près des parois et dans les régions bien résolues.

4. Résultats et interprétations

L'équation de concentration n'est résolue qu'une fois le régime asymptotique est atteint. Après avoir fait une étude dynamique du mouvement d'air à l'intérieur du tunnel, on introduit le terme source qui est localisé au centre du tunnel pour toutes les configurations étudiées. La comparaison des profils de concentration est faite sur la base des moyennes temporelles des valeurs calculées.

Pour ventiler le tunnel, on place des rideaux d'air au niveau du plafond. L'efficacité de la ventilation est évaluée en comparant les profils de concentrations au niveau des piétons avec ceux relatifs au tunnel sans aération.

Sur la figure 2 sont représentés les profils de concentrations moyennes calculés, au niveau des piétons à l'intérieur du tunnel pour chacun des trois cas étudiés. Il est à noter que les positions des maxima de concentration sont au milieu du tunnel et légèrement en amont des sources. Pour le cas du tunnel sans rideau d'air, les profils de concentrations ont une allure en cloche avec un seul pic placé au dessus de la source. Par contre pour les cas 2 et 3 (tunnel à un ou deux rideaux d'air) l'aération du tunnel s'est améliorée nettement. Elle est marquée par une réduction importante de l'amplitude du pic de concentration qui se trouve divisée par un facteur 2.5 comparée à celle du pic du cas 1.

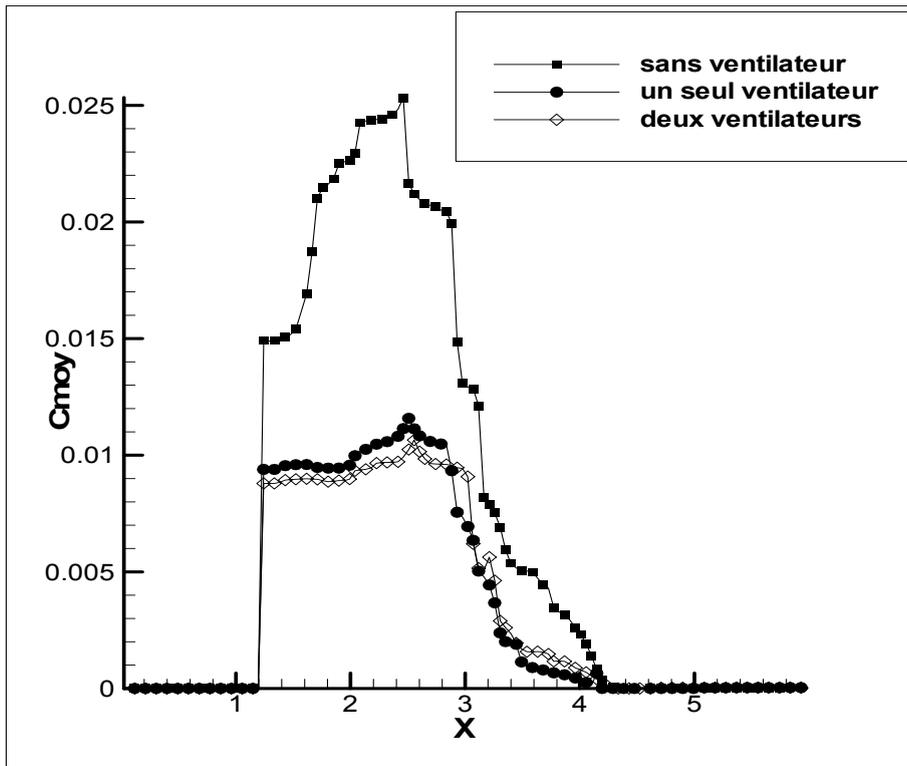
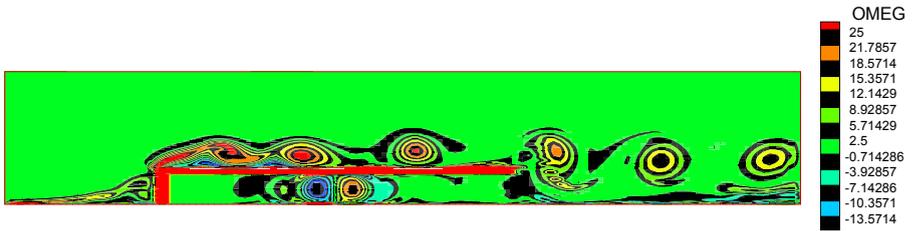


Figure 2 : Profils de concentrations au niveau des piétons

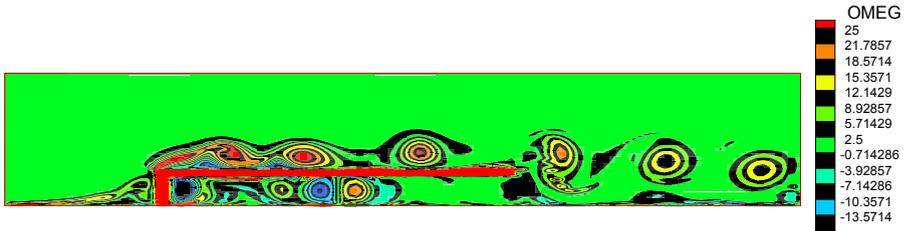
L'amplitude du pic de concentrations du profil du cas 3 (tunnel à deux rideaux d'air) est du même ordre de grandeur que celle du cas 2 (tunnel avec un seul rideau d'air). Ce qui signifie que pour améliorer l'aération du tunnel il ne faut pas multiplier le nombre de ventilateurs mais il suffit d'optimiser la position d'un seul ventilateur. En effet un ventilateur du côté fermé du tunnel est aussi efficace que deux (l'un au milieu du tunnel et l'autre du côté fermé). On remarque aussi que les niveaux de concentrations des zones à faibles vitesses sont élevés alors que les zones à grandes vitesses sont mieux aérées.

Sur la figure 3, sont représentés les champs instantanés de vorticités pour les cas étudiés. Ces champs illustrent bien la nature très turbulente ainsi que la complexité de l'écoulement à l'intérieur et autour du tunnel. On remarque notamment des phénomènes de décollement en amont de l'obstacle et au niveau du bord d'attaque. On observe aussi la présence de plusieurs structures cohérentes qui prennent naissance dans la couche cisailée au dessus du toit. Elle augmentent de taille puis se détachent au niveau du bord en se déformant. Ensuite, elles sont convectées vers la sortie du tunnel. A l'intérieur du tunnel, l'écoulement est aussi turbulent dans la majorité des zones.

Cas sans ventilateur



Cas d'un seul ventilateur



Cas de deux ventilateurs

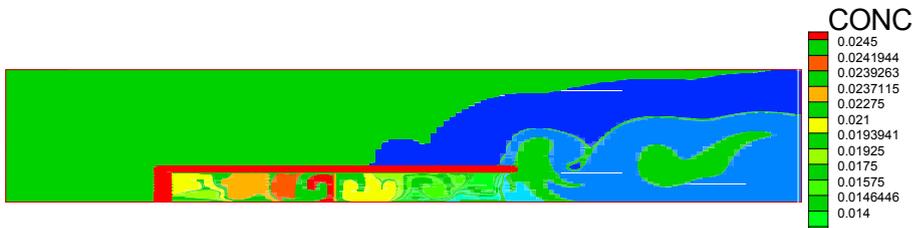


Figure 3 : Champs instantanés de vorticité

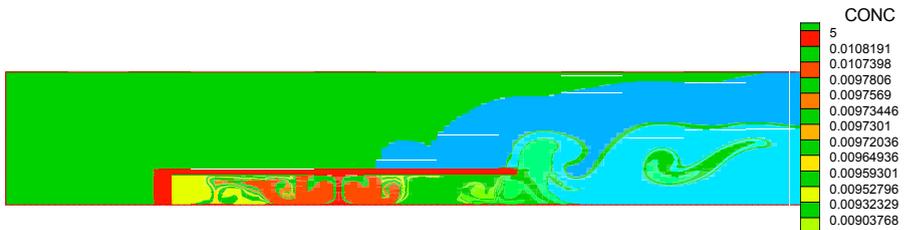
Du côté ouvert du tunnel, les niveaux de concentrations diminuent rapidement (pour tous les cas étudiés). Cette forte dilution et cette intencification des phénomènes de dispersion des contaminants sont expliquées par les effets de la turbulence très intenses dans cette région.

Sur la figure 4 sont représentés des champs instantanés de concentration pour les cas étudiés. On remarque en particulier que pour les cas 2 et 3 l'existence de deux vortex contrarotatifs occupant le centre du tunnel. Les gaz polluants sont alors entraînés vers l'ouverture du tunnel avant d'être éjectés.

Cas sans ventilation



Cas d'un seul ventilateur



Cas de deux ventilateurs

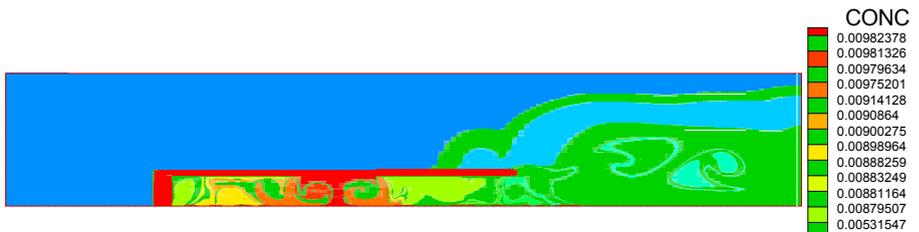


Figure 4 : Champs instantanés de concentrations

5. Conclusion

Dans cette étude, l'approche LES a montré la complexité de l'écoulement qui a un caractère turbulent fortement instationnaire. A l'intérieur du tunnel, l'écoulement dépend essentiellement de la géométrie. Les simulations ont montré que les mécanismes de transport et de dispersion de polluants à l'intérieur du tunnel sont très différents et dépendent directement du nombre et de l'emplacement des ventilateurs.

La comparaison des profils de concentrations moyennes calculés, au niveau des piétons pour chacun des trois cas étudiés, montre que les positions des maxima de concentration sont au milieu du tunnel et légèrement en amont de la source. Pour le cas du tunnel sans rideau d'air, les profils de concentrations ont une allure en cloche avec un seul pic placé au dessus de la source. Par contre pour les deux autres cas, l'aération du tunnel est nettement améliorée. Elle est marquée par une réduction importante de l'amplitude du pic de concentration qui se trouve divisée par un facteur 2.5.

L'amplitude du pic de concentrations du profil du cas 3 (tunnel à deux rideaux d'air) est du même ordre de grandeur que celui du cas 2 (tunnel avec un seul rideau d'air). Ce qui signifie que l'amélioration de la ventilation du tunnel ne passe pas par la multiplication du nombre de ventilateurs mais par l'optimisation de la position d'un ventilateur unique.

Références

- 1- DABBERDT W.G, Hoydysh, M. Read, « Pollution dispersion at complex street configurations: covered roadways, presented at the. Fourth International Scientific Symposium on Transport and air pollution. » June 9-13, Avignon, France, 1997
- 2- A.H. LAATAR , «2Dlarge eddy simulation of pollutant dispersion around a covered roadway. » .J.wind Eng Ind. Aerodyn. 90 (2002), pp.617-637
- 3- ALEXANDER. L. BROWN , «Modelling ventilation and dispersion for covered roadways Journal of wind. Engineering and Industrial Aérodynamics. » Volume 91, Issue 5, April 2003, pages 593-608
- 4- Ta Phuoc, L. « Modèles de sous-maille appliqués aux écoulements instationnaires décollés », DGA/DRET, Journée thématique DRET: Aérodynamique instationnaire turbulente, aspects numériques et expérimentaux, France (1994).
- 5- SGAUT P. « simulation numérique d'écoulement décollés avec des modèles de sous-maille. » Thèse de doctorat de l'Université Paris, France (1995).

Quantification des groupements paysagers périphériques au tronçon autoroutier Annaba – El Hadjar -Annaba

Djamel Fadel * Aziz Laifa **& Rachid Djamai **

* Univ. Badji Mokhtar case postale 12, 23000 Annaba, Algérie-

Fax (038) 87 54 80 – email : fadeldjamel@yahoo.fr

** Lab. Biologie Végétale & Environnement, Département Biologie, BP 12, Annaba, Algérie

Abstract

Under the land use planning, landscape studies are still needed and should be the prelude to any development. If such studies are done with art and appropriately in developed countries, they remain virtually absent in our country. The work we've done on this topic can be considered as a new experience. Indeed estimating landscape groupings peripheral section of motorway connecting Annaba El Hadjar responds to specific questions and achievable on the ground for eventual recovery of components of the landscape, visual field and sequences landscape devices at this section. We have quantified the values of current views from the points of view. The results serve as baseline data to consider when planning this area taking into account certain measures such as conservation groups interesting landscape on a visual level, recovery groups unsightly landscape by ad hoc adjustments and diagnosis on the changing landscape of these groups taking into account the socio-economic developments and their impacts on the environment. Our goal is not to arrive at a value determined the study area but earlier answer any questions on future developments such as changing the route, creating masses wooded location of stations' Gasoline etc. ...

Keywords: *Visual field - length of the eye – elements - Highway – Annaba - Algérie*

1. Introduction

Les paysages naturels du bassin méditerranéen sont très menacés par la conjugaison d'un ensemble de facteurs. L'influence humaine est la plus néfaste à l'équilibre de nos paysages qui sont déjà fragilisés par les facteurs topographiques et climatiques. En effet l'amélioration de la situation socio-économique, marquée d'une grande part par le développement industriel et d'autre part par l'avènement d'une agriculture extensive a engendré un bouleversement structurel et anarchique de nos paysages autrefois naturels. Ainsi le développement des moyens de communication, des infrastructures lourdes ou

encore la multiplication des panneaux de signalisation et d'affichage est perçue comme des atteintes à l'intégrité de nos paysages. Une telle situation est typique de la wilaya d'Annaba qui demeure une région à la fois industrielle, agricole et touristique. Cette situation reste préoccupante pour diverses raisons dont la plus importante à notre sens est le manque de spécialistes en paysage capables d'établir une échelle de valeur susceptible de refléter la qualité du paysage en fonction des critères d'évaluations. Certaines approches comme celles de Zube et coll.(1973-1974), et Shafer et coll. (1977), sont considérées comme subjectives car elles privilégient les représentations d'estimation et les systèmes de valeurs des spectateurs sans donner l'importance au rôle joué par les données spatiales de la perception du paysage. D'autres approches comme celle utilisée par Neuray (1982) sont considérées comme objectives car elles utilisent des critères qui ne dépendent que des formes concrètes du paysage ayant une part prépondérante sur son évolution.

1.1. Situation et groupements paysagers de la zone d'étude

Le périmètre étude qui englobe le tronçon autoroutier reliant les communes d'Annaba à El Hadjar, occupe un secteur compris dans un quadrilatère aux coordonnées suivantes :

6° Longitude Est - 6° 05 Longitude Est

41° Latitude Nord - 41° 05 Latitude Nord

Sur le plan topographique, ce périmètre étude est assez homogène sur toute son étendue. Il présente une uniformité d'ensemble où le pendage est relativement faible compris de 0 à 5 % (figure 1). Le tracé de ce tronçon autoroutier traversant la plaine alluviale qui était jadis exclusivement à vocation agricole. Depuis quatre décennies, la mutation socio-économique de cette région a engendré un véritable bouleversement des groupements paysagers aussi bien dans leur nature que dans leur vocation. Ils comprennent :

- le tissu agricole qui est le plus important de par sa superficie. Il présente une structure hétérogène où alternent les cultures pérennes représentées surtout par les vergers et les cultures annuelles ;
- le tissu industriel comprenant plusieurs unités source d'une pollution multiforme ;
- les zones urbaines d'Annaba, El Bouni et El Hadjar qui s'articulent autour de ce tronçon sont typiquement des groupements paysagers artificialisés figure 2

2. Méthode d'étude

L'étude réalisée sur terrain a nécessité des moyens visuels et photographiques à partir de divers points de vue. Les différents champs visuels existants sur l'axe autoroutier qui relie Annaba à El Hadjar ont été inventoriés et cartographiés lors de

notre déplacement en automobile dans les deux sens de cet axe. Les points de vue nous ont permis d'apprécier la valeur globale du paysage. Leur localisation et leur nombre sont étroitement liés au degré d'ouverture du champ visuel Appleyard et coll. (1971), Clark (1973-1974), Craik (1975) et Fischesser (2006). Dans le cadre de nos travaux, nous avons retenu que les champs visuels ouverts et semi-ouverts. Ainsi six points de vue ont été recensés de part et d'autre de cet axe (tableau 1).

La méthode d'étude utilisée pour quantifier les groupements périphériques au tronçon autoroutier est assez représentative dans la détermination de l'impact de ce tronçon autoroutier sur la qualité des champs visuels. Cette méthode très utilisée pour la quantification des groupements paysagers ruraux est la mieux indiquée pour son application à notre zone d'étude qui comprend encore un tissu agricole important. C'est une méthode descriptive et statique. Elle peut être également dynamique et prospective car elle permet d'analyser l'influence de n'importe quelle modification à entreprendre sur les vues. Cette méthode décrite par Neuray (1982) utilise les valeurs de vues qui nécessitent au préalable la cotation de certains paramètres tels que : la longueur de la vue (L), le calcul des dimensions verticales des vues (R), le calcul des facteurs de valorisation (S). En attribuant aux principaux facteurs une valeur positivement ou négativement sur 10 points et en les additionnant nous obtenons T qui rentre dans la formule de la somme de la valeur des éléments (Σe) quantifiée avant ou après les propositions d'aménagement. Après calcul de tous les paramètres précités la valeur de base de la vue est calculée selon la formule suivante $V = L . R . S$

Cette valeur de base de la vue représente une situation actuelle du paysage perçu à partir d'un point de vue. La cotation de la somme de la valeur des éléments ajoutée à la valeur de base de la vue donne la valeur totale de la vue selon la formule : $V' = V + \Sigma e = L R S + \Sigma e$

La somme des valeurs des éléments tient compte de leur nature

Tableau 1 : Caractéristiques des points de vue du tronçon autoroutier

Localisation des points de vues	Direction : Annaba vers El Hadjar						Direction : El Hadjar vers Annaba					
	Station 1 1 à 1,5 Km		Station 2 04 à 05 Km		Station 3 07 à 08 Km		Station 4 2,5 à 03 Km		Station 5 05 à 06 Km		Station 6 08 à 08,5 Km	
Caractéristiques	S	S.O	S	S.O	S	S.O	N	N.E	N	N.E	N	N.E
Direction de la vue	S	S.O	S	S.O	S	S.O	N	N.E	N	N.E	N	N.E
Longueur de la vue (l) (he)	1,5	6,0	1,5	4,0	2,0	5,0	1,5	2,5	1,5	4,0 0	2,5	3,5
Angle visuel des dimensions verticales												
α	40	40	00	00	00	00	00	00	00	00	45	45
(°C) β	30	35	45	45	40	40	30	35	40	40	35	35
γ	35	40	30	35	45	45	35	30	40	40	35	35
Dénivelée perçue (D) (m)	05	05	00	00	00	00	00	00	00	00	04	04

2.1. Quantification de la somme des valeurs des éléments

Tous les paysages peuvent contenir des éléments valorisants et des éléments dégradants. La suppression ou l'introduction d'un quelconque élément dans le paysage a une incidence certaine sur la perception. La quantification de la somme de la valeur des éléments pourrait être positive ou négative selon la nature de l'élément et de son intégration dans le paysage. L'étude visuelle réalisée sur le tronçon autoroutier qui relie Annaba à El Hadjar nous a permise de recenser tous les éléments valorisants et dégradants. Les éléments valorisants ont été cotés positivement tandis que les éléments dégradants ou mal intégrés dans le paysage sont notés négativement. Nous avons ainsi attribué +1 aux

éléments valorisants et -1 les éléments dégradants. Le tableau 2 fait ressortir la somme de la valeur des éléments du périmètre d'étude.

3. Résultats et discussions

Le tableau 3, reprend toutes les valeurs des paramètres des six stations choisies sur l'axe autoroutier Annaba - El Hadjar – Annaba. Sur ce tableau à double entrée, sont représentées les différentes données qui rentrent dans la formule de la valeur de base des vues et qui sont :

- longueur de la vue (L)
- dimensions verticales des vues (R)
- facteurs de valorisation des vues (S)

Tableau 2 : Somme de la valeur des éléments du périmètre d'étude

Localisation des points de vues Nature des éléments	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 5		Station 6	
	S	SO	S	SO	S	SO	N	NE	N	NE	N	NE
Eléments valorisants												
- Ouverture du champ visuel	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	-
- Présence de plans successifs	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	1	1
- Tissu agricole	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	-
- Arbre d'alignement ou de bocage	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	-
- Massifs boisés	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	-
- Jeu du relief	1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	1
Eléments dégradants												
- Fermeture du champ visuel	-	-1	-	-	-	-	-	-	-	-1	-	-1
- Barrières métalliques et autres	-	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Unités industrielles	-	-1	-	-	-	-	-	-1	-	-1	-	-1
- Pylônes électriques	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
- Habitations, zones urbanisées	-1	-1	-	-	-	-	-	-	-	-1	-1	-1
- Relief uniforme	-	-	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-	-
Somme de la valeur des éléments (Σe)	0	0	-1	3	-1	3	0	1	-1	-1	1	-2

Tableau 3. Valeurs des paramètres : situation actuelle

Localisation des points de vue Caractéristiques	Direction : Annaba vers El Hadjar						Direction : El Hadjar vers Annaba					
	Station 1 1 à 1,5 Km		Station 2 04 à 05 Km		Station 3 07 à 08 Km		Station 4 2,5 à 03 Km		Station 5 05 à 06 Km		Station 6 08 à 8,5 Km	
Direction de la vue	S	S-O	S	S-O	S	S-O	N	N-E	N	N-E	N	N-E
Longueur de la vue (l) en <i>hectomètre</i>	1,50	6,00	1,50	4,00	2,00	5,00	1,50	2,50	1,50	4,00	2,50	3,50
Calcul de la longueur de la vue $L = 1/2 \cdot 10 \log l$	0,88	3,89	0,88	3,01	1,50	3,49	0,88	1,99	0,88	3,01	1,99	2,72
Dimensions verticales des vues (R)												
sin α	0,64	0,64	00	00	00	00	00	00	00	00	0,71	0,71
sin β	0,50	0,57	0,71	0,71	0,64	0,64	0,50	0,61	0,50	0,57	0,57	0,57
sin γ	0,57	0,64	0,50	0,57	0,71	0,71	0,57	0,50	0,64	0,64	0,57	0,57
d = D/100	0,05	0,05	00	00	00	00	00	00	00	00	0,04	0,04
$R = 1 + \sin \alpha + \sin \beta + \sin \gamma + d$	2,76	2,90	2,21	2,28	2,35	2,35	2,07	2,11	2,14	2,21	2,89	2,89
Facteurs de valorisation des vues (S)												
- Dimensions des qualités de l'espace ouvert	03	02	03	05	03	07	04	03	03	07	06	01
- Cadrage de la vue	02	03	03	06	02	08	04	03	03	06	06	02
- Répartition des éléments dans le paysage	02	03	04	06	02	08	03	04	04	05	07	02
- Répartition des éléments dans l'arrière plan	03	04	02	07	01	08	02	02	03	04	07	01
- Qualité visuelle	04	05	03	08	03	08	03	04	04	05	06	02
- Intégrité	01	04	03	07	01	07	02	05	04	05	07	02
- Présence de plans successifs	01	07	01	07	01	07	01	02	02	04	06	03
T	16	28	19	46	13	53	19	23	23	36	45	13
$S = 1 + 0, T$	1,16	1,28	1,19	1,46	1,13	1,53	1,19	1,23	1,23	1,36	1,45	1,13

Tableau 4. Valeur des vues du tronçon autoroutier Annaba – El Hadjar – Annaba

Stations Valeur des vues	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 5		Station 6	
	S	S.O	S	S.O	S	S.O	N	N.E	N	N.E	N	N.E
Valeur de base des vues V = L . R . S	2,82	14,4 0	2,31	10,0 2	3,98	12,5 5	2,17	5,16	2,32	9,05	8,34	8,88
Valeur des vues V' = V + e	2,82	14,4 0	1,31	13,0 2	2,98	15,5 5	2,17	6,16	1,32	8,05	9,34	6,88

Les résultats des calculs des valeurs des vues des six stations sont consignés sur le tableau 4. Ils englobent aussi bien la valeur de base de la vue (V) et la valeur totale de la vue (V') calculée à partir de la valeur de base de la vue à laquelle est ajoutée la somme de la valeur des éléments (Σe).

De ce tableau, il ressort que la valeur des vues ayant la direction nord et sud sont les plus faibles. Par contre celles qui ont une direction nord-est et sud-ouest enregistrent les plus fortes valeurs. En effet, les valeurs des vues des stations 1, 2, 3, 4, 5 et 6 orientées dans les directions nord et sud restent relativement faibles du fait que les orientations de ces stations se confondent avec l'axe du champ visuel de l'autoroute et par conséquent le spectateur assez concentré par la conduite ne peut ni apprécier ni déprécier tous les éléments qui rentrent dans son champ visuel. Elles enregistrent des valeurs de vue égales ou inférieures à celles des valeurs de base de vue. Celles qui ont une direction nord-est et sud-ouest ont subi soit une augmentation ou une diminution par rapport à la valeur de base des vues. Cette évolution positive a été constatée dans les stations 2, 3 et 4 orientées dans la direction nord-est et sud-ouest. Elle est principalement liée à la présence d'éléments valorisants qui s'intègrent harmonieusement dans le paysage des ces stations (photos 1 et 2 de la figure 3).

Les stations 5 et 6 ayant une direction nord-est ont enregistrées une dépréciation de la valeur de base de la vue due essentiellement aux éléments dévalorisants qui ont eu un impact négatif sur le plan visuel de ces stations (photos 3 et 4 de la figure 3). Cette dévalorisation accrue de l'environnement visuel est la conséquence de l'implantation désordonnée des éléments artificialisés tels que les pylônes électriques, barrières métalliques, les constructions anarchiques qui ont dégradé le paysage qui était initialement ruralisé et bien structuré qui était facilement saisissable visuellement Haou (1999) et Hameg (2005).

En comparant les résultats de la méthode quantitative à l'estimation qualitative qui est une méthode typiquement visuelle, nous notons une assez forte convergence entre les résultats et l'appréciation visuelle. Malgré leur grande différence d'application, les résultats recherchés sont pratiquement semblables que pour les champs visuels ouverts et semi ouverts. Ces similitudes ont été confortées par des travaux antérieurs Fadel (1979), Hadjami (1996) et Graïri (2005).

4. Conclusion

Le travail que nous avons réalisé est en soi une nouvelle expérience et un exemple à suivre dans le domaine de la gestion de l'espace par tous ceux qui ont en charge la politique de l'aménagement du territoire. En effet, l'estimation quantitative des groupements paysagers périphériques au tronçon autoroutier reliant Annaba à El Hadjar répond à des questions précises et réalisables sur le terrain sur une éventuelle valorisation des champs visuels et sur les séquences paysagères tout le

long de l'axe routier. Les résultats de la valeur des vues obtenus peuvent être pris en considération lors du traitement de cet espace en ayant à l'esprit de mettre les moyens nécessaires pour valoriser ce paysage autoroutier compte tenu de l'évolution socio-économique.

Références

- 1- Appleyard D., K. Lynch & J.R. Myer (1971) – The view from the road (3^eédit.). Cambridge, Massachussets Institute of Technology, 64 p.
- 2- Clark S.B.K.,(1974) - The value of landscape research news 1 (16).
- 3- Fadel D., (1979) - Traitement d'une zone suburbaine en forêt de loisirs dans la région de Skikda. Mém. Ing. Etat. INA, 95 p.
- 4- Fischesser., B & M.F. Dupuis-Tate (2006) - Rivières et Paysages. Ed.La Martinière.
- 5- Graïri A., (2002) - Contribution à l'aménagement du site de Sidi Achour, zone suburbaine de la ville d' Annaba en forêt récréative. Mém. Ing. Etat. Ecologie & Env. Univ. Annaba, 75 p.
- 6- Hameg R., (2005) - Quantification des groupements paysagers périphériques au tronçon auto- routier Annaba - Berrahal – Annaba. Mém. Ing. Etat. Ecologie & Env. Univ. Annaba, 45 p.
- 7- Neuray G., (1982) - Des paysages pour qui ? Pourquoi ? Comment. Presses agronomiques Gembloux. p.p, 239-250.
- 8- Soualem R., (2003) – Quantification qualitative des paysages autour du tronçon autoroutier El Hadjar – Annaba. Mém. Ing. Etat. Ecologie & Env. Univ. Annaba, 35 p.
- 9- Zube E.H., T. Anderson & D. Pitt (1973-1974) - Measuring the landscape: perceptual reponses and physical dimensions. Landscape Research News 1(6).
- 10-Clark., S.B.K (1973-1974) - The value of landscape. Landscape Research News 1(7),4.
- 11-Shafer E.L & R.O. Brush (1977) - How to measure preferences for photographs of natural landscapes. Landscape Planning 4 (3), 237-256.
- 12-Hadjami., K (1996) - Essai de quantification des paysages périurbains de la région de Skikda. Mém. Ing. Etat. Ecologie & Env. Univ. Annaba, 59 p.
- 13-Haou., S (1999) - Quantification des groupements paysagers périphériques de l'autoroute Skikda-Hamadi Hamrouche. Mém. Ing. Etat. Ecologie & Env. Univ. Annaba, 45 p.
- 14-Craik., H (1975) - Individual variations in landscape description .In: Landscape Assessment : Value, Perceptions and Ressources. Zube E.H., Brush R.O & Fabos J.C. Ed. Stroudsburg (Pennsylvania), Dowden, Hutchinson and Ross, 130-150.

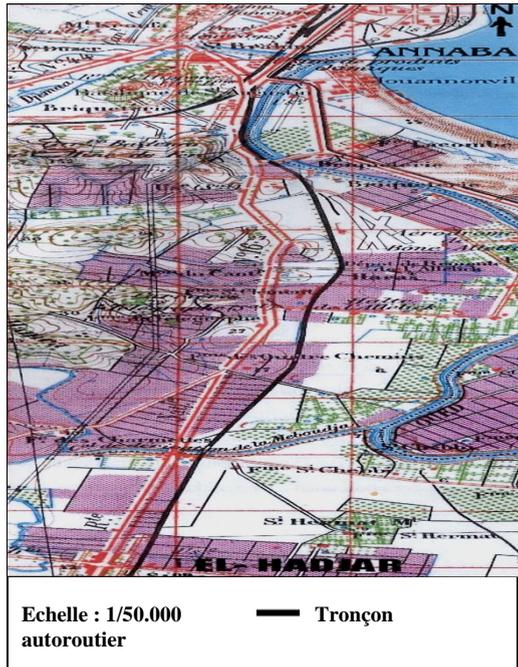


Figure 1. Situation et groupement paysager de la zone d'étude

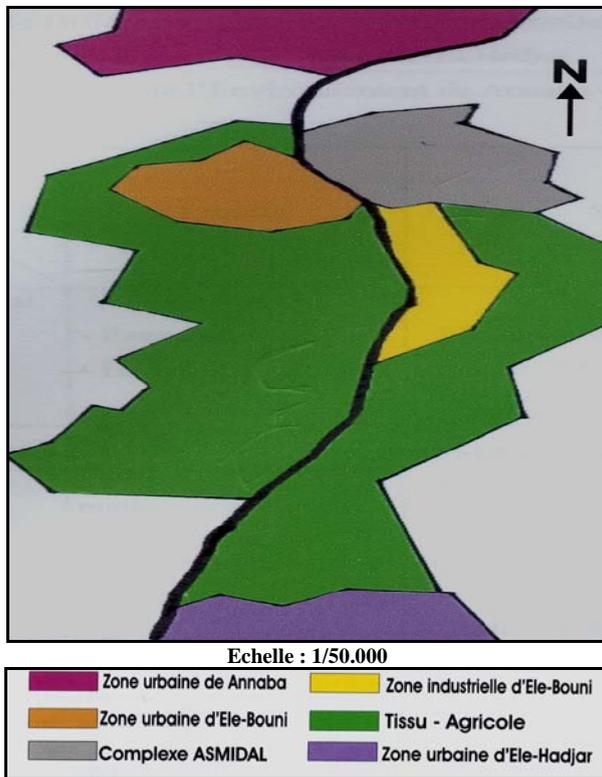


Figure 2. Groupements paysagers la zone d'étude



Photo 1



Photo 2



Photo 3



Photo 4

Figure 3. Vues sur les éléments du paysage autoroutier

Impact des infrastructures de transport sur les paysages ordinaires : application au cas de l'espace périurbain liégeois en Belgique

Jacques TELLER* & Veronica CREMASCO*

*LEMA – Local Environment Management and Analysis, Université de Liège, 1 Chemin des Chevreuils B52, 4000 Liège, Belgique

Résumé

L'objectif central de la Convention Européenne du Paysage (CEP) est de prendre en compte les défis, menaces et opportunités auxquels sont confrontés l'ensemble de nos paysages. Partant de là, le présent texte analyse l'influence des infrastructures de transport sur les paysages dits « ordinaires ». Il se base sur l'idée que les impacts indirects de ces infrastructures ont au moins autant d'importance que les impacts visuels directs. Les impacts indirects incluent à la fois l'effet d'entraînement des infrastructures sur l'urbanisation des paysages et l'effet d'ouverture aux paysages induit par la présence de voies d'accès. La Directive européenne en matière d'évaluation stratégique environnementale impose de prendre en compte ces effets indirects au stade de la planification des projets. Ceci soulève la question de l'évaluation de l'impact de projets d'infrastructures dont le tracé n'est pas encore arrêté. Idéalement, ces impacts devraient être envisagés dans le cadre élargi de l'intégration de ces infrastructures dans les réseaux existants, ce qui ouvre la voie à des approches plus intégrées, conçues dans l'optique d'une planification paysagère. Pour la Belgique, nous avons choisi le cas de la périphérie liégeoise pour illustrer ce propos, en raison de la densité des infrastructures de transport qui la parcourt.

Mots-clefs: infrastructures de transport, paysage, urbanisation.

Abstract

Addressing both challenges, threats and opportunities affecting our landscapes is a key requirement of the recently adopted European Landscape Convention (ELC). The ELC is intended to be applied to all landscapes. Accordingly this text analyses the influence of road infrastructures upon so-called "ordinary" landscapes. It takes the view that, besides direct visual impacts, usually analysed through visibility maps, indirect effects are of equal importance. These typically include the impact of infrastructures upon periurbanisation processes as well as upon accessibility of landscape. According to the European SEA Directive, such direct and indirect impacts should be considered at the early planning stage, which raises the issue of evaluating likely scenarios through multicriteria methods, without knowing the exact location nor design of the future infrastructure. Arguably landscape impacts of such infrastructures should not be considered in isolation but at the network level. This drives the authors to suggest that transport infrastructures should be considered piece and parcel of larger landscape planning strategies. The discussion is illustrated by examples issued from Liege periurban area (Belgium), whose landscape is witnessing deep and rapid changes due to the density of transport infrastructures that innervate it.

Keys-words: transport infrastructure, landscape, urbanisation.

Introduction

Les pressions exercées sur le paysage par le développement inédit de la mobilité terrestre dépassent très largement les impacts visuels directs. Il suffit de songer au réseau autoroutier pour prendre conscience de l'effet catalyseur des infrastructures de transport sur le développement territorial et, indirectement, sur la nature même du paysage et, plus largement, sur son mode d'appropriation par la population qui l'habite. Ces infrastructures apparaissent de ce point de vue comme un élément charnière des paysages ordinaires (Dewarrat *et. al.*, 2003).

Il est utile de rappeler à cet égard la place qu'occupent les infrastructures de transport sur le territoire de la Région Wallonne (Belgique). Le réseau des infrastructures de communication wallonnes est dense et consommateur d'espace. Selon le cadastre, elles couvrent en 2002 quelque 86.483 ha, soit 5% du territoire alors que la résidence (appartements, maisons et jardins), à titre de comparaison, n'en occupe que 6% (Aujean *et. al.*, 2005). L'ensemble de cette nappe, des grands axes aux voiries de dessertes secondaires, permet un accès hiérarchisé à une grande partie du territoire. Elle exprime, par son ampleur et sa complexité, les tensions qui existent aujourd'hui entre une conception « réticulaire » du territoire, telle que défendue par Dupuy (1991), et une conception plus classique de ce dernier, qui joue principalement sur la définition de zones, et donc de surfaces, pour organiser les relations d'équilibre, de correspondance et d'opposition spatiale entre différentes fonctions du territoire. Si l'on rattache souvent la gestion du paysage à cette deuxième conception du territoire, centrée sur les « étendues », on ne peut ignorer l'importance des logiques de réseau dans le maintien voire le renforcement des qualités du paysage, ainsi que l'on montré les travaux issus de l'école de l'écologie du paysage (Forman, 1995).

Dans cette optique, nous nous proposons de questionner le rapport au paysage des infrastructures de transport et en particulier des « routes nationales »¹. L'analyse abordera les aspects suivants de ces axes routiers : l'intégration visuelle de l'infrastructure dans le paysage et sa prise en compte dans les études d'incidence, les impacts liés aux phénomènes de périurbanisation induits par ces infrastructures et, enfin, l'accessibilité au paysage qu'elles offrent. Ceci nous amène à considérer les infrastructures de transport comme des structures paysagères à part entière, au même titre que le relief ou la couverture du sol. Nous avons choisi le cas de la périphérie liégeoise, en Belgique, pour illustrer ce propos, en raison de la densité des infrastructures de transport qui la parcourent.

Cette approche du paysage ordinaire via les infrastructures de transport fait écho à une particularité de la Convention Européenne du Paysage (CEP) adoptée par le Conseil de l'Europe (2000). Cette convention inclut dans son champ d'application les paysages ordinaires et dégradés (art. 2). Analyser la dynamique et les pressions qu'induisent les infrastructures de transport amène naturellement à une réflexion sur la gestion et l'aménagement des paysages, plutôt que sur leur protection *stricto sensu*, autre objectif de la convention (art. 3). Enfin, dans cette approche, le paysage est indissociable des politiques d'aménagement du territoire, d'urbanisme et de mobilité (art. 5).

Infrastructures et paysages : indifférence ou incompatibilité ?

Trop rigides, trop linéaires, trop urbaines, les infrastructures de transport sont souvent perçues comme des éléments rapportés s'assimilant difficilement aux sites naturels, sauf à les enfouir sous le sol. Suivant les exigences du mode de locomotion qu'elles supportent, les infrastructures épousent variablement le relief en raison d'un profil en long et de pentes maximales à respecter. Le chemin de fer, par exemple, et plus encore la technologie contemporaine de la grande vitesse ferroviaire, sont très exigeants à ce propos.

¹ Les routes nationales sont, en Belgique, des voies importantes ou qui traversent de larges portions du territoire, par opposition aux routes communales. Elles sont établies sur base d'un maillage rayonnant à partir des grandes villes.

Les évolutions en matière de transports et les progrès techniques qui lui sont associés ont amené les tracés routiers ou ferroviaires à s'affranchir progressivement de la morphologie du territoire. Si le relief a moins d'incidence que par le passé sur le tracé même des infrastructures, il en a d'autant plus sur les ouvrages d'art et les zones de déblai/remblai qui ont tendance à s'amplifier. Ces éléments d'accompagnement peuvent alors devenir les principales modalités de l'inscription paysagère des réseaux de transport. Leur empreinte sur le paysage est parfois si importante qu'ils en acquièrent une véritable valeur patrimoniale (figure 1). Ce phénomène n'est en rien une exclusive de notre époque et l'on peut établir toute une gradation depuis le sentier piéton jusqu'aux lignes de train à grande vitesse en matière d'accroche au sol et de « concordance / discordance » avec le paysage existant (Antrop, 1999 ; Stanners & Bourdeau, 1995, p. 435).



Figure 1 : Le Viaduc de Moresnet, long de plus d'un kilomètre, marque de sa présence le paysage vallonné du Pays de Herve à l'est de Liège. Construit sur le territoire belge par les allemands pendant la première guerre mondiale, afin de relier Aix-la-Chapelle (Allemagne) et Tongres (Belgique), il constitue aujourd'hui un élément du patrimoine de la région. (photo: Veronica Cremasco, nov2006)

Figure 1 : The Moresnet viaduct, more than one kilometer long, greatly affects the landscape of the Pays de Herve Landscape, east of Liege. Built by Germans during the first world war, for linking Aix-la-Chapelle (Germany) and Tongres (Belgium), it is now part of the cultural heritage of the region. (photo: Veronica Cremasco, nov2006)

L'évolution de ces infrastructures induit sans cesse de nouvelles formes de relation aux contraintes au sol. Les autoroutes, par exemple, organisent la mobilité avec des modalités différentes de celles de nos routes nationales. Les points d'origine et d'arrivée sont plus distants ; le trajet entre les deux est plus rapide, plus direct. La traversée des zones urbaines étant de plus en plus contestée, on préfère les contourner plutôt que les traverser. Le tracé des infrastructures évolue ainsi au rythme des techniques, des objectifs et des contraintes sociales et environnementales.

La logique même de « tracé » constitue une source de rupture entre infrastructures et paysages. Le tracé en urbanisme ou dans l'art des jardins désigne une structure immatérielle, purement géométrique, qui ordonne des systèmes de vues dans une optique de composition (en particulier dans l'urbanisme baroque et haussmannien). Appliquée aux infrastructures de transport, cette notion souligne leur nature abstraite, leur absence d'épaisseur et leur caractère intentionnel, soit une série d'attributs qui les distinguent des paysages dans lesquels ils prennent place. Or on sait en urbanisme combien les tracés sont liés à des traces, préexistantes, et que leur force est fonction des éléments physiques, concrets, tels que voies, bâti, monuments, qu'ils coordonnent.

De la même manière, le tracé des infrastructures ne peut être dissocié de l'ensemble des éléments qui le matérialisent et des effets qu'il induit sur le long terme. Les infrastructures de transport, aussi détachées du territoire qu'elles puissent paraître, façonnent inévitablement le paysage en y introduisant une relation nouvelle au temps et à l'espace. En d'autres termes le rapport des infrastructures aux paysages ne peut être pensé en faisant abstraction du dynamisme et de la plasticité de ce dernier. Ceci amène inévitablement à réfléchir en termes de transformations acceptables du paysage, sachant que celui-ci a toujours exprimé de manière assez tangible les valeurs dominantes d'une société.

L'impact visuel des routes nationales et les études d'incidences stratégiques

L'intégration paysagère des infrastructures de transport relève de la législation en matière d'études d'incidence. Le paysage est sensé faire l'objet d'une attention particulière lors de l'évaluation environnementale des incidences de projets de grandes infrastructures de transport depuis l'adoption de la directive européenne 85/337/CEE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés. Force est toutefois de constater que l'argument paysager n'est pas toujours déterminant dans le cadre de ces études. On sait en effet qu'une des limites de cette procédure est d'intervenir assez tard dans la chaîne décisionnelle, à un moment où la remise en question de certaines options fondamentales du projet peut être très coûteuse, en terme de temps, d'argent et de rapports politiques. La directive 2001/92/CE relative à l'évaluation des incidences sur l'environnement de plans et programmes devrait permettre des études plus en amont, bien avant que le tracé des infrastructures ne soit adopté et que des projets concrets ne soient développés.

Il est encore trop tôt pour proposer un bilan de cette nouvelle disposition sur l'inscription paysagère des infrastructures de transport. Nous relèverons cependant qu'il s'agit d'une ouverture importante vers la prise en considération de la dimension paysagère de ces grands équipements. Le paysage peut alors devenir un élément fondateur du projet, au même titre que la biodiversité, le bilan énergétique ou les gains de mobilité.

Van de Castele et Denis (2005) mettent en évidence les possibilités qu'offre une étude en amont de l'impact paysager de nouvelles voiries, mais aussi les limites d'un exercice qui consiste à évaluer la relation d'une infrastructure avec le paysage, sans disposer d'un tracé définitivement arrêté. Les auteurs développent une méthode permettant d'envisager un large panel de solutions, sans travailler dans la complète abstraction : une analyse territoriale comparative par filtres successifs est menée sur un fuseau de nombreux tracés possibles, qui se réduit au cours d'étude à quelques scénarios précis.

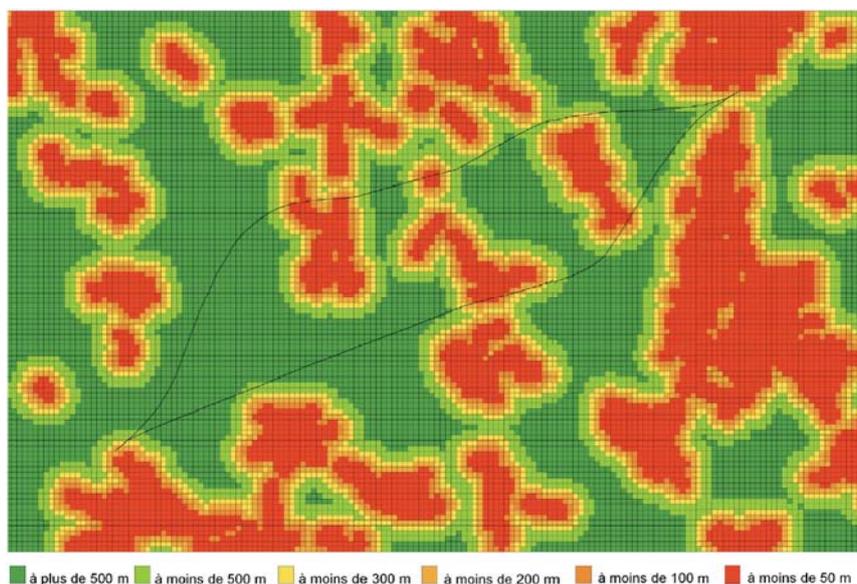


Figure 2 : Carte de proximité des zones d'habitat par rapport à un fuseau de tracés possibles pour une nouvelle nationale. Ce type de carte permet une analyse multicritère des impacts paysagers de différents tracés. (source : Van de Castele & Denis, 2005)

Figure 2 : Housing areas proximity map for a set of likely routes of a new national infrastructure. Such maps can be used for multicriteria analyses of the landscape impact of new routes. It is especially useful at the strategic environmental assessment stage of the procedure, when the definitive lay-out of the route is not yet known. (source : Van de Castele & Denis, 2005)

Cette étude interpelle quant à la difficulté d'objectiver la dimension paysagère et de cibler les critères à prendre en considération. Toute la zone d'étude est découpée selon une grille (figure 2) où

la sensibilité de chaque maille à un critère paysager est évaluée sur base d'un descripteur du type "nombre de courbes de niveau", "qualité pédologique des terres agricoles", "proximité d'éléments bâtis", etc. Les différents tracés activent des mailles différentes avec des valeurs de descripteurs différents. On obtient, sur base d'une analyse multicritères, une cotation globale permettant de classer les tracés. Les descripteurs sont affinés lors d'un second tri, et des importances différentes leur sont accordées selon que l'accent est mis sur la fonction agricole, écologique ou le cadre de vie.

La mise en place de ce type de méthode est lourde au vu du nombre de critères, et des calculs qui en découlent. Les grandes classes de critères considérées sont : le relief, les milieux naturels, l'agriculture, le cadre de vie, le réseau routier. Une distinction est aussi faite pour toutes ces classes entre le potentiel et l'occupation effective.

Notre propos n'est pas de disserte sur la plus ou moins bonne adéquation de tel ou tel critère. En effet, la principale limite de cette méthode est, selon nous, de ne pas assez prendre en considération les effets induits des infrastructures de transport. Le paysage est conçu comme un milieu stable, avec différents niveaux de sensibilité selon les zones traversées. Si l'on peut accepter une telle hypothèse pour le substrat géomorphologique, la couverture du sol et, dans une moindre mesure, la composante agricole du paysage, elle est beaucoup plus discutable pour ce qui concerne l'habitat et l'urbanisation, qui sont susceptibles d'évoluer sur des périodes relativement courtes, en particulier suite aux opportunités offertes par une nouvelle voie de transport. Deuxième limite de la méthode, celle-ci ne prétend pas engager une réflexion sur d'éventuels apports des infrastructures de transport en terme de composition paysagère. Elle se limite, par définition, à évaluer l'impact de ces infrastructures sur les paysages existants.

Les voies nationales et leur influence sur l'urbanisation du paysage

Si la seule présence visuelle des infrastructures de transport est remarquable, leurs conséquences indirectes sont tout aussi impressionnantes. La mobilité est intimement liée aux modalités d'utilisation et d'urbanisation du territoire. Les infrastructures de communication agissent sur le temps qui sépare un point d'un autre et donc sur la localisation possible des activités dans le territoire. Il faut insister sur le contexte paysager, culturel, économique, qui interagit avec ces nouveaux moyens de l'exploiter. Les infrastructures de transport ne doivent pas seulement s'envisager en tant que nouvelles lignes qui devraient s'adapter à des surfaces existantes pour composer une fresque agréable, mais comme des catalyseurs influençant la distribution et la croissance même de ces surfaces (Halleux, 2002).

Les modalités de déplacement influencent l'espace urbanisé au sens large. Certaines poches industrielles, résidentielles ou commerciales ont un développement largement lié à la mobilité. Il ne s'agit pas de dire que la mobilité est le seul facteur expliquant le paysage urbanisé, mais bien de voir comment la mobilité a influencé les formes urbaines en fonction des ressources disponibles.

La nature même de l'impact paysager indirect des autoroutes et des voies nationales est, à cet égard, très différent. Dans le premier cas, l'urbanisation induite par l'infrastructure de transport a tendance à se concentrer autour de parcs d'activités localisés aux abords des entrées, et qui attirent principalement des fonctions économiques (tertiaire, secteur de la distribution, logistique). Les voies nationales sont par contre beaucoup plus congruentes avec le paysage urbanisé. Dans les contextes où l'urbanisation du territoire n'est pas strictement contenue, elles vont jouer un rôle de ligne de croissance similaire à celui des grands boulevards du 19^{ème} siècle, mais à une échelle tout à fait inédite (figure 3). Dans le cas de Liège, ville de 200.000 habitants, cet effet de « ramification » de la forme urbaine peut s'étendre sur une distance de 15 à 20 kms avec une épaisseur de 2 à 3 kms. Il va produire un paysage tout à fait spécifique pour les usagers qui les parcourent.

On observe, à la périphérie des villes soumises à ce phénomène, une inversion de la forme et du fond du paysage rural : le milieu bâti constitue alors la trame de fond qui n'est plus que « ponctuée » d'ouvertures paysagères vers des fragments d'espaces verts, espaces boisés ou agricoles, qui marquent la progression le long de l'axe. Le sentiment qui prédomine est celui d'une

continuité de l'espace bâti, qui se traduit par la présence d'habitat et de fonctions commerciales. La présence de nombreux carrefours et de zones construites le long de ces axes a peu à peu imposé des traitements spécifiques de la voirie afin de limiter les vitesses, régler les problèmes de croisement de flux et sécuriser les traversées de la chaussée. Ces aménagements ont pris au cours des dernières décennies un visage spécifique, ni rural ni urbain à proprement parler, et vont marquer l'identité du paysage de manière bien plus profonde que le tissu bâti clairsemé qui borde la voirie : désactivation de la bande centrale pour permettre des traversées piétonnes plus confortables, présence de larges ronds-points destinés à rythmer la progression des automobilistes, voies de dessertes latérales pour faciliter le cabotage automobile etc. On peut rapprocher ces aménagements de certaines politiques d'apaisement des voiries menées en centre ville, même s'ils s'en distinguent par leur vocabulaire, leur nature et leurs effets sociaux (Dumont & Von der Müll, 2007).

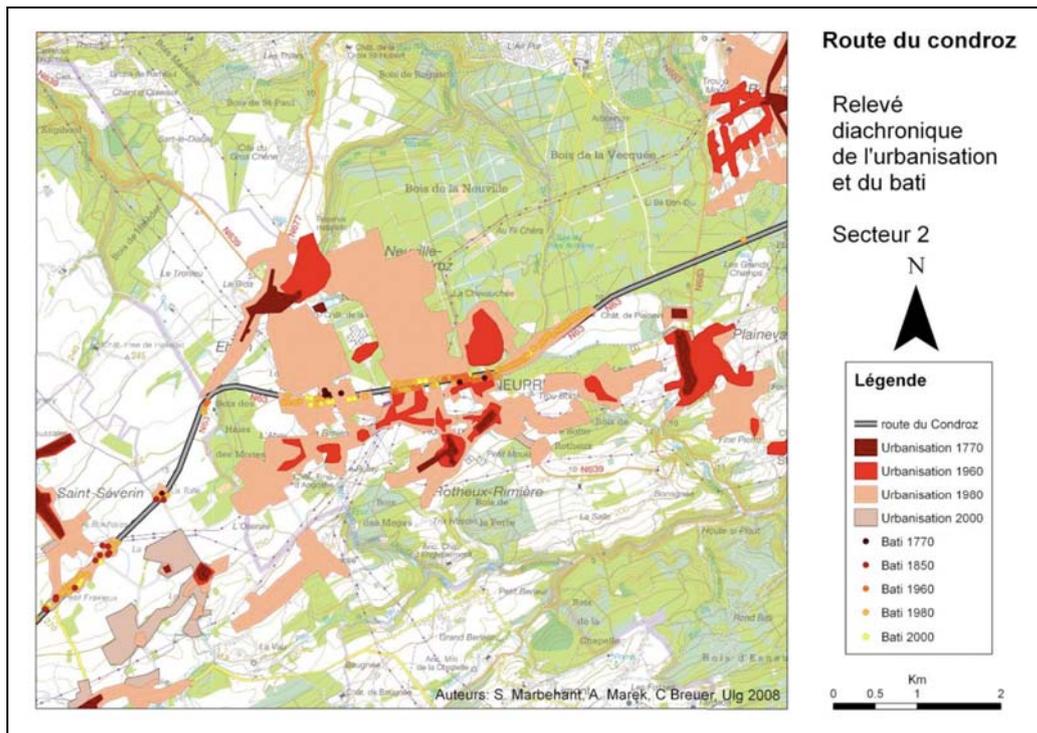


Figure 3 : Cette carte illustre l'influence de la route nationale N63, reliant Liège à Marche, sur l'urbanisation des paysages entre 1770 et 2000, via l'unification progressive de noyaux bâtis bien différenciés à l'origine. L'avancée du front d'urbanisation est particulièrement marqué entre les années 60 et 80. Il a tendance à se stabiliser depuis lors (source Breuer *et. al.*, 2008)

Figure 3 : This map illustrates the influence of the national route N63, Liege Marche, on the urbanisation of rural landscapes between 1770 and 2000, through the progressive unification of initially independent villages. It illustrates the indirect impacts of infrastructure upon the perception of landscape through the forming of corridor-like periurban environments. The progress of the urbanisation front was spectacular between 1960ies and 1980ies. It is now more or less stabilised. (source Breuer *et. al.*, 2008)

L'urbanisation qui se développe le long des voies nationales a deux effets principaux : elle produit un « paysage chaussée » tout à fait caractéristique du milieu périurbain et elle démultiplie considérablement l'impact visuel des infrastructures de transport. C'est particulièrement vrai lorsque celles-ci sont installées sur des crêtes ou au bord des plateaux comme dans le cas que nous avons étudié à Liège.

Les infrastructures comme porte d'accès privilégié au paysage

Les infrastructures de transport de terrestre interagissent encore avec le paysage en constituant une porte d'accès sur celui-ci pour un nombre considérable de personnes/jours. Le rôle de la route doit à cet égard être mis en évidence tant la part modale qui lui est accordée est importante en regard des autres modes de transport. « Par l'effet d'un étrange paradoxe, les meilleures vues sur les paysages urbanisés de l'Europe de l'ouest sont celles que l'on peut avoir depuis les infrastructures de transport qui coupent et fragmentent les paysages qu'elles traversent. » (Antrop, 1999) Dans certains cas, les habitants « redécouvrent » ainsi leur milieu de vie à partir de voiries qui traversent des vallées et offrent des vues saisissantes sur leur paysage quotidien.

Envisager les infrastructures de transport, chacune avec leur spécificité, dans ce rapport dynamique au paysage demande une vision différente de l'interaction entre le réseau de communication et l'étendue du territoire sur laquelle il se déploie. Ainsi on peut chercher à les faire collaborer, interagir, plutôt que les opposer. La notion même de trajet peut alors être revisitée dans une perspective écologique (Amar, 1993). Le trajet n'est pas exclusivement l'action qui consiste de passer d'un point A à un point B, en un minimum de temps et dans des conditions les plus confortables possibles, mais participe à une aspiration humaine de se déplacer, de devoir quitter son milieu, pour en découvrir un autre. Il acquiert alors une toute autre épaisseur et qualité.

Une telle écologie des transports exige une réflexion paysagère fondamentale par rapport au rôle des infrastructures dans la perception des paysages, qui ne peut se limiter à quelques panneaux d'animation culturelle ou des plantations.



Figure 4 : Cette carte illustre le séquençage des ouvertures et fermetures paysagères le long de la route nationale N63, reliant Liège à Marche. On voit que l'on passe d'un milieu fermé par de la végétation dense (à droite de la figure) à un milieu plus ouvert (en bas à gauche) offrant de larges perspectives sur les espaces agricoles. (source Dujardin *et. al.*, 2008)

Figure 4 : This map illustrates the rythm of landcape opening and narrowing along the national N63, Liege Marche. Automobiles come from a narrow visual environment enclosed by dense vegetation (up to the right) to a largely open space (down to the left), offering long perspectives towards the rural countryside. (source Dujardin *et. al.*, 2008)

Une telle écologie de la mobilité devrait amener à étendre les paramètres pris en compte dans le cadre de l'analyse de l'intégration paysagère des voiries et en particulier des routes nationales qui offrent un accès au paysage assez spécifique, dans la mesure où les vitesses pratiquées sont plus lentes que sur les autoroutes et qu'elles « adhèrent » beaucoup plus au relief naturel. Il ne s'agit pas seulement d'étudier comment la voirie est perçue dans le paysage, mais également comment elle donne à voir celui-ci. Elle acquiert de ce fait le statut de ligne de vue, aujourd'hui reconnue dans certains documents d'aménagement du territoire, et pourrait faire l'objet d'aménagements appropriés. L'enjeu est alors d'éviter toute forme de théâtralisation du territoire, qui ramènerait celui-ci à une forme de « parc paysager » plutôt qu'à un espace de vie au sens plein du terme.

Conclusion

Poser un regard détaché sur l'évolution des paysages semble bien difficile. C'est que cette évolution est en partie déterminée par l'opposition entre deux logiques à priori contradictoires, à savoir une logique de l'étendue sous-jacente à la notion même de paysage et une logique réticulaire caractéristique de l'urbanisation actuelle du territoire. Ceci conduit à ce que d'aucuns appellent la banalisation du paysage, à savoir la production d'un cadre de vie intermédiaire entre ville et campagne, mais ne possédant ni l'urbanité de l'un ni la stabilité de l'autre. Face à ce déséquilibre, on voit se développer des attitudes tantôt de résignation tantôt de contestation.

En tant qu'archétypes des logiques de réseau, les infrastructures de transport constituent une pression importante pour nos paysages. Ces infrastructures se caractérisent par une autonomie croissante par rapport au terrain et des ouvrages d'art de plus en plus conséquents. Mal maîtrisées, elles stimulent l'urbanisation progressive de l'ensemble des paysages et peuvent conduire à une perte de diversité généralisée. Enfin, les infrastructures de transport sont, par nature, une source de fragmentation des paysages qui ne peut que se renforcer avec le temps si on laisse celles-ci se doubler d'une barrière construite imperméable à l'œil et à l'homme.

Penser la relation entre infrastructures et paysages en seuls termes de menace conduit toutefois à ignorer les opportunités liées à ces équipements, et en particulier des voiries existantes comme l'ensemble des voies nationales qui sillonnent le territoire à partir de centres urbains. On voit ainsi se développer dans les pays voisins des projets de maillage vert et bleu, dont la finalité n'est pas seulement la protection de la biodiversité, mais également l'aménagement des paysages urbanisés en vue de leur requalification. Ce type de mesure a pour but de réconcilier les deux approches de paysage réseau et de paysage étendue, en posant l'infrastructure de transport comme un élément de composition de l'espace visuel et comme le principal support de l'accessibilité aux paysages.

Remerciements

Ce travail de recherche, relatif à l'inscription paysagère des infrastructures de transport, a été initié dans le cadre du thème 3 Paysage des recherches de la Conférence Permanente du Développement Territorial (<http://cpdt.wallonie.be/>).

Références

Amar G. (1993) : Pour une écologie urbaine des transports. Les annales de la recherche urbaine, 59-60, p. 140-157.

Antrop M. (1999) : Transport routes in the landscape :about connectors, dividers, initiators, attractors, views. L. Kristensen og E.H. Petersen. Tansport og Landskab. Landskabokologiske skrifter n°13, pp. 21-40. Center for Landscape Research, Roskilde University.

Aujean L., Y. Hanin , V. Rousseaux & S. Van Custem (2005), L'occupation du sol en Wallonie, Ministère de la Région Wallonne, Conférence Permanente du Développement Territorial.

Bendicks S. (2006) : Neighbourize. Symposium organisé par the University of Natural Resources

and Applied Life Sciences, Vienna/H85 Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur H852 Institut für Landschaftsarchitektur (ILA)

Breuer C., S. Marbehant, A. Marek (1998) : Analyse de la dynamique de développement le long de la route du Condroz. Accessible sur le site <http://www.lemma.ulg.ac.be/urba/Cours/morphologie.php>

Conseil de l'Europe (2000) : Convention Européenne du Paysage. Série des traités Européens n°176, Florence, 20/10/2000

Dewarrat J.-P., Quincerot R., Weil M., Woeffray B. (2003) : Paysages Ordinaires de la protection au projet. Architecture+Recherches, Pierre Mardaga éd.

Dujardin S., Goergen J., Jennes F. (1998) : Analyse espaces bâtis - espaces ouverts aux abords de la route du Condroz. Accessible sur le site <http://www.lemma.ulg.ac.be/urba/Cours/morphologie.php>

Dumont M. & D. Von der Müll (2007) : De la rue à la ville apaisée : l'éclairage comparé des expériences péri/suburbaines suisses et françaises. Flux, n°66-67, pp. 50-61.

Dupuy G. (1991) : L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes. Armand Colin, 198 p.

Forman, R. T. T. (1995) : Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press, Cambridge/New York. 632 pp.

Halleux J.-M. (2002) : La logique de la désurbanisation : les aptitudes aux déplacements et les formes urbaines, Les coûts de la désurbanisation, CPDT 1, Etudes et Document, Ministère de la Région wallonne, Namur, pp. 26-32.

Stanners D. & Ph Bourdeau (1995) : Europe's Environment. The Dobrie Assessment. European Environmental Agency, Copenhaguen.

Van De Castele Y. & O. Denis (2005) : Gouvernance paysagère et grandes infrastructures routières. Quel apport dans le cadre d'une étude d'incidences stratégique ? Collection Territoires et Développement durable, UCL, Presses universitaires de Louvain.

Sustainable Transport Practices in Latin America

Jorge Rogat and Miriam Hinojosa, Ernest Kamala*

UNEP Risoe Centre, Energy Climate and Sustainable Development, Roskilde, Denmark

E-mail: Jorge.rogat@risoe.dk

UNEP, Paris, France

Abstract

The rapid growth of Latin American cities beginning in the 70s has led to, among other things, growing mobility and demand for transportation. The lack of efficient, reliable and safe public transport systems has promoted the switch away from buses and trains towards private cars. Some of the impacts of a steadily increasing car fleet have been increased congestion, number of accidents and environmental deterioration. Recognising the potential implications of such a development, policy makers and officials found it necessary and went ahead to reformulate transport policies with the aim of providing safe, cost-effective and environmental-friendly public transport systems. Bus rapid transit (BRT) became the answer in a number of Latin American cities. The successful experiences of Curitiba in Brazil and Bogotá in Colombia have served as the source of inspiration for other cities in Latin America, Asia, Europe and the USA. Thus, the BRT represents a unique example of South-South, South-North technology transfer. This paper presents some of the Latin American experiences and discusses their achievement and drawbacks.

1 Introduction

The rapid growth of Latin American cities beginning in the 70s has led to, among other things, growing mobility and demand for transportation. The lack of efficient, reliable and safe public transport systems has promoted the switch away from buses and trains towards private cars. Some of the impacts of a steadily increasing car fleet have been increased congestion, number of accidents and environmental deterioration. From 1970 to 1990, the Latin American car fleet increased by approximately 250%, reaching 37 million vehicles (Wright, 2001). Many of these cars were imported used cars, which emit more pollutants than new cars, hence causing a heavy strain on both the local and global environment. The transport sector is currently one of the most rapidly increasing sources of green house gases (GHG) and in some Latin American countries - it accounts for nearly a third of the total GHG emissions (Rogat, 2007).

Recognising the potential implications of such a development, policy makers and officials found it necessary and went ahead to reformulate transport policies with the aim of providing safe, cost-effective and environmental-friendly public transport systems. Bus rapid transit (BRT) became the answer in a number of Latin American cities. Curitiba in Brazil was in 1973 the first city in the world to introduce a BRT system. Several years later, in 2000, Bogota in Colombia introduced another BRT system in the region. These two examples have served as the source of inspiration for other cities in Latin America, Asia, Europe and the USA. BRT systems are operational or under construction in Mexico City, Mexico; Sao Paulo, Brazil; Santiago, Chile; Guatemala City, Guatemala; Guayaquil, Ecuador; Jakarta, Indonesia; Beijing, China; Bangkok, Thailand; Nantes, France; Glasgow, Scotland; Eindhoven, Netherlands, and in Boston and Orlando in the USA. Thus, it represents a unique example of South-South, South-North technology transfer.

One likely explanation for the wide BRT acceptance is that it can provide high quality services similar to other mass rapid transit (MRT) systems like light-rail or rail-based metro, but at a fraction

of the cost. Experience from implementations in Latin America shows that the construction cost of a BRT system may vary between 1 and 5 million US\$ per kilometre, while the cost of a light rail train may be around 30 million US\$ per kilometre. The cost of rail-based metro, which is by far the most expensive, may vary between 65 and 200 million US\$ per kilometre (GTZ, 2002).

The BRT system works in a similar way to light-rail trains or rail-based metros, but operates along corridors on dedicated busways at street level. Articulated buses with a carrying capacity of between 150 and 185 passengers, or bi-articulated buses with a carrying capacity of around 270 passengers are normally used. These buses are supplemented by feeder buses which carry passengers to interchange terminals. Modal integration is another feature of BRT systems, which in some cases complement rail-based metro systems, with feeder buses connecting both buses and metro. One such example is the BRT system recently launched in Santiago, Chile. Here, the BRT system operates as a complement to the metro, covering areas not served by the metro with feeder buses connecting both transport systems. A well designed BRT system can carry around 35,000 passengers per hour and direction, which is half what metro systems can carry, but as mentioned earlier, this at a fraction of the cost. Other features of the BRT system are established stops; rapid boarding, and pre-boarding fare collection. Most of the BRT systems operating in Latin America are managed by a public-private partnership, where the government fund the required infrastructure, while private bus operators provide the buses. The government or the corresponding transport authority set the regulatory framework for private bus associations to operate. The BRT systems implemented in Latin America are not subsidised and are, despite relatively low fares, financially sustainable¹.

This paper analyses two of the most well known old BRT experiences and some of the new ongoing experiences in the region, focusing on the benefits and drawbacks encountered so far. The two well-known experiences are famous because of their success in terms of acceptance and performance. The new ongoing experiences are more difficult to assess and have shown varying degree of success.

2 Successful practices

2.1 Curitiba's Integrated Transport System

Curitiba, the capital city of the Brazilian State of Paraná, has been successful in innovating the transport system over the past 40 years by challenging conventional wisdom: favouring public transport over private automobiles, selecting appropriate rather than capital-intensive technologies, and pursuing strategic principles rather than rigid master plans (Santoro & Leitman, 1996). It started with the Agache Plan in 1943, when Alfred Agache, a French urban planner, developed the first urban plan for the city². Due to financial constraints in carrying out the plan; and to the pressure of rapid population growth³, planners had to reconsider the plan and in a process that matured during 20 years of institutional development, they created a forward-looking, flexible Master Plan that was approved in 1966⁴.

In proposals with several innovative solutions relying on an organised, non subsidised and privately owned investment in infrastructure, the Master Plan established guidelines that changed the city's radial configuration of growth to a linear model of urban expansion. The basis of the Master Plan

1 BRT fares in Latin America vary between US\$0.15 as in the case of Guatemala City, to US\$0.80 in Santiago, Chile.

2 The plan assumed the dominance of the automobile and the principal approach was massive infrastructure investments, including construction of circular boulevards and major radial arteries

3 Due to agricultural mechanisation from the 1950s to the 1980s, cities across Brazil experienced rapid growth with the migration of people from rural areas to urban areas. Curitiba experienced some of the highest growth in the country with population increases reaching an estimated 5.7% a year during those decades. This uncontrolled increase in population presented challenges that demanded effective city planning in areas ranging from social services, housing and sanitation, to environment and transportation..

4 The Master Plan was designed by several Brazilian architect firms in cooperation with city planners

was a tripod principle: the integration of land use, road network and transportation planning. These elements were the key tools for guiding and coordinating socio-economic and territorial growth of the city. The first step after approval of the plan was the creation of the Institute for Research and Urban Planning in Curitiba (IPPUC). The institute introduced zoning laws and design for the city in compliance with the urban plan. In 1969, Mayor Omar Sabbag developed the preliminary mass transportation plan. In 1971 the plans for mass transit terminals and pedestrianisation of the city centre were developed under Architect Jamie Lerner's first appointed mayoral term.

Revisions of the Master Plan were done along with the evolution of needs for transport and priorities of city planners. The most significant changes in the transport system were taken in 1974 with the creation of the road hierarchy and land control system (Rabinovitch & Hoehn, 1995)⁵. The key innovations that have been bolstered by continued political support across municipal administrations are: conscientious integration of land use planning, road design, and public transport; joint public-private operation; capacity-expanding measures and emphasis on equity and affordability.

The current Curitiba Integrated Transportation Network (ITN) encompasses transfer terminals, thirteen express routes, direct routes using boarding tubes, feeder and inter-district routes supplemented by city centre routes, neighbourhood routes, night routes, special student routes, and pro-park routes which collectively make up Curitiba's Mass Transit System (MTS). Through carefully planned tube or terminal connections, passengers can pay one fare and travel throughout the system. Passengers can identify a specific route by the colour and type of the bus used. The Integrated Transport System is made up of 340 routes that utilise 1,902 buses to transport 1.9 million passengers per day. The entire network covers 1,100km of roads with 60km of it dedicated to bus use. There are 25 transfer terminals within the system and 221 tube stations that all allow for pre-paid boarding. In addition, the integrated system has 28 routes with special buses dedicated to carrying students and disabled people (Rabinovitch, 1995; IPPUC⁶).

Curitiba's public transport system carries nearly 1.5 million passengers daily, or about 75% of the total number of passengers, thus being the highest carrier among all Brazilian public transport systems. Affordable fares make it possible for the average low-income family to spend only around 10% of its income on transportation, which is relatively low in Brazil. The efficient system improves productivity by speeding the movement of people, goods, and services⁷.

The implementation of the urban transport system has had to overcome a number of obstacles: rapid growth; the threat to long-term transport planning posed by short-term political decisions; and the lack of finance. In overcoming these obstacles, several important lessons were learned. (Santoro & Leitman, 1996):

- even during a period of rapid growth, cities can guide physical expansion through integrated road planning, investment in public transport, and enforcement of complementary land use planning;
- the capacity and expertise needed to support innovation should be institutionalised to enhance guidance and stability over time;
- creativity, public-private partnerships, resource conservation, and external support can overcome financial constraints;

5 One important element of Curitiba's road system is the concept and use of "road hierarchies." Each road is assigned a function in relation to its location and importance. There are the "structural" roads along the five axes described above and "priority" roads that connect traffic to the structural roads. "Collector" streets have commercial activity along them with all forms of traffic, and "connector" streets link the structural roads to the industrial area. These four types of roads form the structure of Curitiba's road network.

6 Urbanização do Brazil S.A (URBS) http://www.ippuc.org.br/pensando_a_cidade/index_projetos.htm – Cd-Rom Curitiba: Planejamento um Processo Permanente

7 http://www.curitiba.pr.gov.br/pmc/a_cidade/Solucoes/Transporte/index.html

- authorities should involve stakeholders in innovations and provide them with transparent and up-to-date information.

The implementation of the Master Plan through integrating the road network, public transport, and land management has resulted in a more energy-efficient, cost effective and environment friendly city. Positive environmental changes are directly linked to urban management in the transport sector. Although there are more than 500,000 private cars in the city, three quarters of commuters take the bus (Urbanização de Curitiba, SA). Twenty-eight percent of direct route bus users previously travelled by car. The increased use of public transport has helped save up to 25% of fuel consumption citywide, with related reductions in automotive emissions. Curitiba's public transport system is directly responsible for the city having one of the lowest levels of air pollution in Brazil (Santoro, 1996).

2.2 Bogota's TransMilenio

While the source of inspiration for Curitiba's Master Plan was urban development, for TransMilenio the stimulus came from the need for a solution to a typical chaotic transportation problem of a mega-city like Bogota. Though the system was developed taking into consideration Curitiba's experience, it was a reform of an existing urban transport system. The objective of TransMilenio has been to establish an efficient, safe, rapid, convenient, comfortable and effective modern MRT system ensuring high ridership levels. The long-term goal is to ban the use of all private vehicles during peak hours starting 2015. TransMilenio is a high quality and sustainable transport solution, at a very low cost for the tax payers and direct users.

TransMilenio is a BRT system that has been carefully designed and developed taking into consideration the specific circumstances applying to Bogotá. The system was designed and developed under the following principles based on respect to the passenger:

- respect to life: reduce fatalities due to traffic accidents and reduce harmful emissions;
- economise users' travel time: reduce average trip time by 50%;
- respect to diversity: full accessibility to young, elderly and handicapped.
- quality and consistency: use of advanced transit technologies, providing a world class system city wide;
- affordability: possibility for the government to afford infrastructure costs, for the private sector to recover costs of buses acquisition and operations from fares (without public subsidies), and for the users to pay the fares.

As one component of the Mobility Strategy, TransMilenio is part of a structural change in the transit system of Bogotá. To initiate a structural change under prevailing transportation conditions, the local administration set forth an integral mobility strategy aimed to promote non-motorised transportation, reduce automobile use, and encourage public transportation. Actions include recovery of public spaces and construction of pedestrian walkways and malls, building of 400 Km bikeways network, a city wide vehicle restriction in peak periods, increase in parking prices, day-long automobile ban, and development of a bus rapid transit system (Sandoval & Hidalgo, 2002)⁸

TransMilenio encompasses specialised infrastructure for bus rapid transit, including dedicated busways for high capacity articulated buses. It also includes an efficient privately provided operations scheme, a state-of-the-art fare collection system, and a new public company in charge of planning, development and control of the system. Infrastructure, planning, development and control

⁸ TransMilenio started operations in December 2000. By May 2001 it moved 360,000 passengers/day in 20 Km exclusive busways, 32 stations; 171 articulated buses, and 60 feeder buses operating 26 Km routes. By the end of 2001 it carried 800,000 passengers/day in 41 Km busways, 62 stations, 470 articulated buses and 300 feeder buses operating 125 Km routes. Extensions will continue in the upcoming 12 years to cover 85% of the daily trips in the city.

of the system are provided by public entities, while operations and fare collection are provided by private companies through concession contracts.

The TransMilenio system is the result of a successful public-private partnership as well. Apart from an adequate financial support for infrastructure development, factors such as strong political will, the commitment of an enthusiastic technical team and the support of local agents, were strong components for successful implementation of the project in only thirty six months. Nowadays, the system's productivity is very high compared to traditional public transport. Fulfilment of the objectives is underway, and achievements are already evident, namely, a 92% reduction in fatalities, a 32% decrease in average journey time, a 98% acceptance level among the public, and an affordable fare (US\$0.40). The BRT system is managed by TRANSMILENIO S.A, which is the company in charge of planning, development and control of the system.

TransMilenio contributes to improvement of the environment and resource efficiency in the transport sector. It replaced the conventional transport system by one which, apart from providing improved transport services for passengers, reduces in a significant way emissions per passenger (14% emission reductions in 1992 and 45% expected for 2015⁹). Though buses are diesel-powered, emission reductions are basically the result of systematic improvements plus a modal shift towards public transport. Emission reductions are the result of the following changes: renewal of bus fleet, increased capacity of buses (the articulated buses have a capacity of 150 passengers); improved operating conditions for buses¹⁰; centralised bus-fleet control, which allows for the optimisation of the load factor of buses leading to lower emissions per passenger transported; mode shift; introduction of pre-paid fare technology thus streamlining the boarding process and reducing idling buses GHG emissions. Indirectly, TransMilenio also reduces GHG emissions of other vehicles circulating in the area of TransMilenio due to improved traffic conditions as a result of an elimination of interference from buses competing for passengers with other vehicles.

3 New initiatives

3.1 Guayaquil's Metrovía

The BRT system Metrovía of Guayaquil was designed by a unit within the Municipality of Guayaquil specially established for that purpose. The Metrovía was considered to be the most appropriate solution to the transport problems affecting the city and is one of the main components of the massive urban transport programme (MUTP) of Guayaquil. The main objectives of the MUTP are:

- to improve the quality of public transport services and its accessibility to the 84% of the population not having access to own transportation;
- to decrease the time spent on travelling by public transport users through introduction of articulated buses circulating along dedicated busways (corridors);
- to decrease bus operation costs by providing an organised traffic with established stops and constant speeds;
- to efficiently use the capacity of buses and;
- to decrease travel expenses for commuters who have been paying high fares due to the current disintegrated system.

Before the implementation of Metrovía, other MRT systems like light rail and rail-based metro were also considered, but shelved because of a much higher cost. Like Transantiago, Metrovía uses

9 Entrevistas Transmilenio, STT, Circuitos de Transporte Público: "efectos sobre la calidad del aire"

10 Confined, segregated bus lanes together with bus-priority traffic signals allow buses on the route to operate more efficiently and without interference from other traffic thus reducing fuel consumption and GHG emissions. The conventional system is based on competition for passengers between buses on the same route without having segregated lanes for public transport.

18.5 metres articulated buses with a carrying capacity of between 165 and 185 passengers. Urban buses with a carrying capacity of between 70 and 80 passengers will serve as feeder buses. Like most of the BRT systems implemented in the region, fare collection is through prepaid card, which increases efficiency and decrease the risk of driver assaults; the last being an issue of concern in many cities. The first corridor of Metrovía was operational in July 2006 and it has already meant a significant improvement for the inhabitants of Guayaquil in terms of increased travel speed, increased reliability and improved air quality as a result of less but also newer and cleaner buses. The first corridor has 72 articulated buses and 69 feeder buses which together will transport around 140,000 passengers per day and will serve people from 11 areas of the city. The fare price is US\$0.25, which has been calculated as the necessary fare to cover all the running costs of the system (Plan de Transporte Publico Masivo, 2004).

Metrovía, although smaller, is essentially a replication of the BRT system implemented in Bogotá. It is managed by a public-private partnership composed of the municipal government and a private association. The municipal government sets the regulatory framework and the private association is in charge of the management of the BRT system. One of the reasons for the creation of this partnership is to implement a financially sustainable transport system, which doesn't need to be subsidised by the government.

Prior to the implementation of Metrovía, the bus transport system of Guayaquil was characterised by inefficiency, insecurity and by being subjected to an unregulated market. This situation gave rise to the so called “Guerra del Centavo” (War of the cents) which is the result of bus drivers competing for passengers at stops. Prior to Metrovía, there were 5000 private busses known as colectivos, of which 250 were replaced by the first line of Metrovía. In 2001, 114 bus routes out of a total of 164 were concentrated in the central district of Guayaquil, thus giving rise to crowded and unsafe roads. This considerably reduced safety, and was one of the main reasons for many traffic accidents, with 30% of the accidents blamed on the colectivos. It is planned that in 2020, when the whole BRT system is in place, 7 corridors will be operational.

3.2 Guatemala City's Transmetro

The BRT system implemented in Guatemala City, Transmetro, is the first replication of the well known BRT systems of Curitiba and Bogota in Central America. It is one of the components of the Urban Mobility Plan (UMP) for 2020, which is in turn part of the development plan of Metropolitan Guatemala (DPMG). The main goal of the DPMG is to provide reliable and safe transport services to its inhabitants. In this context, the public transport system is considered essential in achieving that goal. The main objective of the UMP for 2020 is to provide “an efficient, safe and equitable transportation system, which is an integral component of the economic competitiveness of the metropolitan area, being at the same time environmentally sustainable and socially just.” The DPMG will thus address the impacts from an inefficient transportation system, which are environmental degradation, and high social and economic costs. Many of the objectives laid out by the UMP will be directly addressed by the implementation of Transmetro, namely:

- decreased congestion;
- reduced vehicle operational costs;
- decreased average time spent on travelling;
- reduction in energy consumption;
- decreased traffic-related local emissions;
- reduction of stress levels for all road-users and;
- reduction of life losses, medical costs, and property damage resulting from traffic accidents.

The UMP has three major objectives, which are part of the national policy, and where the implementation of a BRT system is the one having the highest priority. The BRT system Transmetro will relate directly to the policy of emissions control, as it (1) uses higher capacity buses; (2) introduces newer and cleaner buses (3) substitutes 4 to 5 high polluting old buses by a

new bus; (4) has fewer stops on its route; and (5) it is not affected by congestion that drives pollution levels up. Like the other BRT systems previously implemented in the region, 18.5 metres articulated buses with a carrying capacity of around 160 passengers will run on dedicated busways, thus decreasing time spent on travelling, congestion, and thereby, air pollution. Transmetro will transport approximately 180,000 passengers daily and is the first corridor of a large system that, when completed by the year 2020, will consist of 12 corridors. Despite the fact that the first corridor of Transmetro was officially launched only a few months ago (February 2, 2007), some of the benefits can already be observed, including increased security (due to constantly safeguarded buses) and decreased time spent on travelling. In contrast to the acceptance level observed during the introduction of Transantiago in Santiago, Chile, the level of acceptance among the population during the introduction phase of the first corridor of Transmetro has been very high. This is very important in that it creates a positive attitude among users, which may in turn increase the tolerance level for all the obstacles the system may have during its inception phase.

The implementation of Transmetro is expected to significantly improve the situation affecting the public transport of the capital, which has been characterised by inefficiency, and unreliable and unsafe transport services. Until recently, 68% of the trips made in the City were made by bus while 23% made by private motorisation. However, the 23% using private cars were occupying 76% of the roads, leaving the rest for the public transport¹¹. Due to the excessive number of buses, this created extremely crowded roads, high competition among bus drivers for the passengers, and along with it, increased traffic accidents and high air pollution. In addition to this, an inefficient organisation among bus operators, this gave rise to unreliability and infrequency in bus services.

3.3 Santiago's Transantiago

The BRT system Transantiago is one of the components of a comprehensive public transport programme (PTP) designed by the government of Chile in 1995. It is currently being implemented by the government through its various ministries, such as, the ministry of transport and telecommunications and the sub secretariat of transport. The PTP, which is seen as the answer to the problems affecting the public transport of Santiago, has five main objectives. These are:

- to maintain the current share (49.5%) of the public transport as a mode of transportation;
- to provide a public transport system able to meet the demand for it;
- to develop a technologically modern, environmentally clean and economically efficient public transport system (PTS);
- to operate a reliable, safe and affordable PTS for all the citizens and;
- to provide a PTS which responds to the needs of all the citizens including disabled, elderly and low-income people.

The PTP is a unique example in that it means a complete restructuring of the public transport system which integrates the new BRT system Transantiago, the already existing network of urban and interurban trains and the rail-based metro system known as Metro. For that purpose, the distance covered by the Metro has been doubled from 40 to 81 kilometres. Although a bicycle network to be integrated with Transantiago and the Metro is not yet in place, it is included in the plans. The implementation of the PTP has also meant a complete reorganisation of bus operators' associations, including a reduction of these from around 300 to 16 associations, owning between 200 and 700 buses each. As the result of the use of articulated buses, the total number of buses will be reduced from 7,500 to 4,600 out of which 1,200 are new buses complying with Euro III

¹¹ Information from several sources, among them: Global Info Group (1999), Municipality of Guatemala City, study from 2001, and Metropolitan Transportation Agency (EMETRA), 2003.

standards¹². Old buses complying with Euro I and Euro II standards have been equipped with particle filters, which will reduce emissions considerably. The buses are diesel powered and comply with emission standards of 50ppm of sulphur oxides (Transantiago, 2005). Transantiago will use 18.5 metres articulated buses with a carrying capacity of 160 passengers and 12 metres buses with a carrying capacity of 80 passengers. In addition to the trunk buses, 8 metres buses with a carrying capacity of 40 passengers will serve as feeder buses for Transantiago, as well as for the Metro. The articulated buses will run on dedicated busways (corridors) along the capital covering the areas not covered by the Metro. Fare collection is through smart electronic prepaid cards, with differentiated fares. It allows passengers to transfer between the various modes paying a differentiated fare depending on the number of transfers made. However, regardless of the number of transfers, there is a maximum fare which is 400 pesos (approximately US\$0.80).

The average route distance travelled by buses will be reduced from 62 to 25 with trunk buses travelling on average 36 kilometres and feeder buses 19 kilometres. All this means a significant improvement in terms of decreased congestion and air pollution, but also significant fuel savings. When the whole BRT system is in place, the new articulated buses will run along 5 corridors of dedicated busways. Transantiago is managed by a public-private partnership with 60% of the funding being private investment (through concessions), and the rest being government investment.

4. The Benefits of Sustainable Transport Solutions

The introduction of BRT systems has brought considerable benefits to the cities where these systems have been implemented. Before BRTs implementation, these cities were characterised by high levels of congestion, large number of traffic accidents and severe air contamination. This picture was, to a large extent, the result of inefficient and poorly managed public transport services unable to meet the increasing demand for transportation, which promoted the switch away from public to private motorised transportation. The consequences were poorly managed public transport services in combination with high municipal debts, which forced officials and municipal planners to look for cost-effective solutions. The answer to this dilemma was to find out a new transport paradigm such as the BRT system. By relying on the concept of moving people rather than cars, they challenged cultural barriers in the cities, and brought to them, significant benefits for the environment, the economy and society. However, it is worthwhile mentioning that many factors need to be considered for a well designed BRT implementation, which has been the case, perhaps with a few exceptions, in most of the cities where BRT systems have been Implemented.

4.1. Environmental benefits

Mass rapid transit systems like BRT use clean high capacity articulated buses able to replace 4 to 5 conventional buses by one articulated bus. This means in itself a significant reduction in fuel consumption, and thereby, in levels of emissions. One such example is the BRT system of Curitiba, where a 25% reduction in fuel consumption, gave rise to equivalent emission reductions. Similarly, in the case of TransMilenio, the level of emissions per passenger was reduced by 14% in 1992, and it is expected to be further reduced (45%) by 2015. One of the main reasons for the environmental improvements, which the implementation of BRT systems has brought about, is that most of the articulated buses are new buses with improved technology using fuel more efficiently¹³. Another reason is that BRT implementations often require, and are therefore normally, coupled with comprehensive restructuring of the transport sector, which indirectly brings a series of

12 EU emission standards EURO I to EURO III (g/kWh) for diesel engines > 85 kWh were introduced in 1992, 1996 and 2000 respectively. EURO I: CO 4.5; HC 1.1; NOx 8.0; PM 0.36, EURO II: CO 4.5; HC 1.1; NOx 7.0; PM 0.25, EURO III: CO 2.1; HC 0.66; NOx 5.0; PM 0.10.

13 The TransMilenio system has reported some pollutant levels for 2000 and 2001 from a monitoring station close to Av. Caracas Busway. It showed a reduction of 43% in Sulfur Dioxide SO₂, 18% in Nitrogen Dioxide, and 12% in particulate matter (less than 10 micras) (Sandoval, 2005)

environmental benefits. For instance, the restructuring usually involves the construction of bikeways that further promotes and facilitates changes in transport mode. For example, in the case of TransMilenio, 400 kilometres of bikeways were constructed in the city of Bogotá; and this has increasingly validated the use of the bicycle as a mode of transportation. Another measure that has been included in these transport sector reforms is the introduction of car-free days, where private cars are banned from city centre. A modal change, particularly from motorised to non-motorised transportation – is directly reflected in positive effects for the environment (because of less pollution), for the economy (because of decreased congestion) and for society (because of improved health due to cycling).

Reductions in local emissions, contributes also to reductions in global emissions. There is an increasing consensus that the most effective way of achieving greenhouse gas emission reductions in the transport sector is by the combination of a number of measures aimed at promoting and facilitating the shift to lower-emitting modes of transportation. Ideally, measures addressing aspects such as mode share, land use planning and technology innovations should be implemented in an integrated manner.

4.2. Economic benefits

BRT systems are low cost compared to other MRT systems. The Latin American experience shows that BRT systems have been delivered at a cost of between US\$1 million and US\$5.3 million per kilometre while, for instance, the cost for rail-based metro systems have been between US\$65 million and US\$207 million per kilometre (GTZ, 2002). Another advantage of BRT systems is that they are normally self-financed despite low fares, ranging from US\$0.15 as in the case of Transmetro, to US\$0.80 as in the case of Transantiago.

High congestion poses significant costs on the economy; it decreases traffic speed, which in turn increases time spent on travelling, fuel consumption, and operating costs. For example, according to estimations made for Santiago, Chile, an increase in the average speed of private car journeys by 1 km/hr and that of public transport by 0.5 km/hr would give a reduction in journey time and operating costs worth the equivalent of 0.1% of the GDP (Bull, 2003). The benefits of decreased journey time can already be observed in Guatemala City. Recent interviews conducted in Guatemala City show that after just a few months of Transmetro's introduction, travelling time from city outskirts to the city centre has been reduced by nearly 80%; with an express service, less number of stops, and by 60% of the regular service¹⁴. Although not of the same magnitude, reductions in journey time have also been observed in Bogotá. Six years after TransMilenio's introduction, journey time has been reduced by 32%. In this context, the on-time performance of the system is crucial. A good example is the BRT system Metrovía, which 7 months after implementation, showed an on-time performance of 97%. Reductions in journey time give considerable benefits for the population and for the economy as well, which have not yet been accounted for.

Well implemented BRT systems have shown a series of benefits in most of the cities where these have been implemented. The bad implementation of a BRT system can however give the opposite results. One example is the implementation of Transantiago in Santiago, Chile, where according to recent interviews, 75% of the passengers using the public transport system have experienced an increase in journey time of between 20 to 30 minutes¹⁵. This has meant a direct economic cost for both passengers in some cases (because of salary deductions), and for the economy (because of lost productivity).

14 Information provided by the Vice Mayor of the Municipality of Guatemala City and main responsible for the implementation of Transmetro, Enrique Godoy, on March 30, 2007).

15 Information presented in the newspaper El Mercurio, March 17, 2007.

Traffic accidents mean significant cost to society in terms of medical treatment and lost lives. In the case of TransMilenio, for instance, a comparison of statistics between before and after system implementation indicates an important reduction in the number of accidents in the system corridors for 1999 and 2001. According to Sandoval (2002), the Transport and Transit Secretariat of Bogotá (STT) and Metropolitan Police Department have reported a 92% reduction in fatalities, and 75% in injuries resulting from traffic accidents, and a reduction of 79% in collisions for that period.

4.3. Social benefits

BRT is a way of providing high quality and capacity transport services. The Latin American experience shows that BRT is attractive to urban travellers since it reduces journey time providing at the same time high capacity services. The fact that BRT systems provide distinctive, frequent but limited stop services, generally operating on roads with transit priority at traffic lights, makes it faster and more efficient. BRT systems also offer increased safety for passengers in waiting areas. For instance, in the case of Curitiba these areas are tubes and in many cases waiting areas are roofed and strengthened with more powerful public lighting. It has also been observed that this safety effectiveness encourages higher income people to start using the public transport system in Curitiba, which also applies for Bogota. Similar results have been observed in Guatemala City, where assaults and robberies to passengers have disappeared almost completely.

BRT offers opportunities for public-private-partnerships which are specially needed for transport reforms. Regulation (by local authorities) and investment (by private companies) need to go hand in hand to effectively achieve the goals of adopting BRT under a wider program of public transport reforms. For instance, Bogotá has dramatically reformed its control on parking; on-street parking has been eliminated from many streets and converted instead into attractive public spaces. Likewise, Curitiba dramatically improved its allocation of public space to pedestrians and commercial areas, with major car-free areas in the city centre. The pedestrian zones also act as feeder services to the BRT system by easing pedestrian movements towards stations. This would, most likely, have been more difficult to implement without private sector involvement. Private sector involvement is also crucial for the well functioning of BRT systems. Although publicly operated bus authorities continue to exist in Latin American mega-cities, they are rapidly losing passengers to private formal and informal transit operators. In most developing country cities, bus operations are now entirely in private hands. In Quito, Bogota, and Curitiba, the most famous examples bus operators were, from the very beginning, fully incorporated in the planning.

5. Conclusions

Well planned and implemented BRT systems have proven to be the right transport option for cities which have suffered the negative impacts that poorly managed transport services give rise to. The success of Curitiba, the first city in the world to implement a BRT system, has served as the source of inspiration for many cities in Latin America and all over the world. Today, TransMilenio is perhaps the most well known BRT system, and it is most likely the example that has inspired other Latin American cities the most. These two examples have meant significant improvements to their cities for the environment, the economy and society. Curitiba stands out as pioneer and an example of success for integrated transport policy planning aimed at restructuring bus systems which use energy more efficiently; reduce congestion, air pollution and journey time, and that increase safety. Similarly, with some innovation and adaptation to the country's circumstances, Guayaquil's Metrovía, and Guatemala City's Transmetro are considered successful examples for sustainable transport practices. Metrovía was, as a matter of fact, awarded the 2007 Sustainable Transport Award at the TRB (Transport Research Board) 86th annual meeting held in Washington, D.C., in January 2007. Some of the commonalities for these examples are:

- A high degree of political willingness reflected in continued local transport policy aimed at favouring the use of public transport. Both Curitiba and TransMilenio have benefited from highly committed and enthusiastic mayors who made public space and public transport a

priority. Due to the influence of Bogota and Curitiba, new BRT systems are already in operation in other regions of the world. Beijing in China, Jakarta in Indonesia, Leon in Mexico, and Seoul in South Korea are some of the examples.

- Urban planning, compatible with innovative public transport solutions. This has been another contributing factor for success achieved by these cities, and something that particularly applies to relatively underdeveloped cities, or in an early stage of economic development.
- Highly synergistic implementation approach reflected in integrated transport planning and network building accompanied by regulation, promotional measures and educational campaigns. For example in Bogota each weekday the city bans 40% of all vehicles entering the city during peak periods (06.00 to 09.00 hours and 16.30 to 17.30 hours). The city also actively promotes the use of non-motorised transport modes.
- Participatory approach. This has proven to be fundamental in the implementation of Guatemala City's Transmetro, where the responsible for the implementation of the BRT system, held regular consultation meetings with the various local stakeholders such as bus operators, students, households and the media. This is in order to, from early stages, design and plan a system which could take into consideration and incorporate the needs of the citizens. In contrast to Transmetro, officials in Santiago adopted a top-down approach, designing and planning Transantiago without the participation of the population. This issue might have been one of the reasons for its lack of acceptance and troublesome implementation.
- Gradual changes in passengers' habits. Experience shows that public transport restructuring which is introduced gradually has a greater chance of being accepted and incorporated by the population. Guatemala City's Transmetro and Guayaquil's Metrovía are successful experiences. The opposite applies to Santiago's Transantiago, where a comprehensive public transport restructuring was introduced overnight.

References

- Bull, A. (Compiler). Traffic Congestion. The problem and how to deal with it. ECLAC, 2003.
- GTZ. Bus Rapid Transit, Module 3b. Sustainable Transport: A sourcebook for Policy-makers in Developing Cities". Eschborn, 2002.
- Metrovia, Plan de Transporte P Masivo de la Ciudad de Guayaquil: Informe Técnico, Marzo, 2004.
- Rabinovitch, J. "A Sustainable Urban Transportation System Energy for sustainable development. Volume II No. 2, July 1995.
- Rabinovitch, J, Leitman, J. "Urban Planning in Curitiba, A Brazilian City Challenges Conventional Wisdom and Relies on Low Technology to Improve the Quality of Urban Life." Scientific American, 1996.
- Rogat, J. "The Politics of Fuel Pricing in Latin America and their Implications for the Environment". Energy & Environment. Volume 18 No. 1, 2007.
- Santoro, R., Leitmann, J. "Innovative Urban Transport in Curitiba, Brazil. A Successful Challenge to Conventional Wisdom" Manuscript. May 1996.
- http://ippuc.org.br/servindo/index_produtos.htm
- Sandoval, E., Hidalgo, D. TransMilenio: A High Capacity – Low Cost Bus Rapid Transit System developed for Bogotá, Colombia. Manuscript, 2002.
- http://www.transmilenio.gov.co/transmilenio/frameset_gneral.htm
- Transantiago, Informe de Avance No 1: Evaluación Ambiental Estrategica Programa de Transporte Publico, (2005).
- Wright, L. "Mass Transit Options, Sustainable Transport: A sourcebook for Policy Makers in Developing Countries", Module 3a. (Eschborn: GTZ). 2002
- Wright, Lloyd. "Latin American Busways: Moving People Rather than Cars". Reprint from Natural Resources Forum, JNRF 25:2, May 2001.

Experiences of Retrofit Particulate Filters for Diesel City Buses and Passenger Cars

Tamás MERÉTEI , Péter BODOR
Institute for Transport Sciences. (KTI)
H-1119 Budapest Thán Károly u. 3-5.Hungary
Fax: 36 1 205-5897; e-mail: meretei.tamas@kti.hu

Abstract

In this project the potential of retrofit by diesel particle filter (DPF) in reduction of particulate emissions was evaluated, and experiences were collected for large scale introduction of retrofit DPF especially in low emission zones.

Partial flow and wall flow working, continuously regenerating traps (CRT) from different manufacturers were investigated on the articulated city bus manufactured by IKARUS and its six-cylinder, direct injection, 160 kW engine which complies with Euro-2 emission limits and produced by RÁBA-factory. The emissions were measured on engine test bench according to the ECE-R-49.02 Regulation, beside the gravimetric method the particulate number and size distribution were measured too. In real life bus operation the smoke emission, the noise level, the acceleration were tested and continuously the backpressure before the DPF and its inlet exhaust gas temperature were monitored. A large reduction of the particulate emissions (90-95%) could be achieved by the wall flow DPF-s. The degrees of decrease were the same in case of gravimetric and particle number measurements. Due to the oxidation catalyst used for preparation of regeneration the CO and HC emissions were also effectively (by 85-95%) reduced.

The tested passenger car was a EURO-4 level Opel-Astra, in this case only partial flow, CRT were investigated according to the ECE-R-83.04 Regulation. The reduction of the particulate emissions was between 20-40%

The noise level measured outside of the test vehicles remained unchanged. The reliable operation of wall flow type DPF can be controlled by the continuous measurement of the back-pressure. No remarkable increase of the fuel consumption and decrease of the power were recognised after the retrofitting. Follow up field tests are going on city buses to evaluate the durability of CRT

Keywords: *diesel vehicle, particulate emissions, particulate filters, retrofitting, emission measurements, particle measurements, gravimetric analysis, number/size distribution.*

Introduction

Diesel engines are at present the most fuel efficient and durable power plants of road vehicles. Due to the effective combustion process their CO, HC and CO₂ emissions as well as their fuel consumption are very low but their particle and NO_x emissions are high. The motivation for retrofits of diesel particulate filters (DPF) in case of city buses and passenger cars is given on the one hand by the serious air polluting and health effects caused by the fine particulate matters, while on the other hand by the increasing share of old vehicles in vehicle fleet of Hungary.

Recently the issue of fine particles from diesel fuelled road vehicles has become an increasing importance. According to the results of several experts [Kittelsson, 2008] [Mayer, 2005] the fine particles (diameter $<10\mu\text{m}$, PM₁₀ and especially the ultrafine particles $d<100\text{nm}$) are provable injurious to the human health. Based on these findings important research was made in the last two decades to develop reliable and efficient particulate filters for diesel vehicles.

The basic objective of this project was to evaluate the potential of retrofit by DPF in reduction of particulate emissions, and to prepare a strategy for large scale introduction of retrofit DPF for the Hungarian road vehicle fleets especially in low emission zones.

Ordered by the Hungarian Ministry of Transport, Communication and Energetics KTI investigated in cooperation with DPF manufacturer and the Budapest Transport Company the on the market. available DPFs on typical diesel vehicles of the Hungarian fleets. The main results of laboratory tests and first real life measurements on city buses are discussed in this paper.

1. Background for retrofit of DPF in Hungary

Road traffic is one of the main sources of the air polluting particle emissions in Hungary. Similarly as the EU Hungary have mandatory, health-based air quality limit values for the most important air polluting materials. Those are difficult to meet in our big cities especially in the capital are values for PM₁₀ and NO_x. The limit values for the yearly average and the development of the Budapest monthly average values measured by one of the air quality monitoring stations being on the Kosztolányi square in Budapest are shown in Figure 1. The evaluated period of time is between 2004 and 2009, the air polluting materials are PM₁₀, NO_x and NO₂. The number of exceeding of the daily average limit value for PM₁₀ in case of all air quality monitoring stations of Budapest can be seen in figure 2. from calendar year 2004 till 2008. The daily average limit value for PM₁₀ ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) may not to be exceeded more than 35 times per year, but it was unfortunately widely exceeded in most of the monitoring stations. In order to meet the PM₁₀ limit values the decrease of the particle emissions of road vehicles is required by all means.

To decrease the particulate emissions in the Hungarian big cities first of all the following road vehicle categories have to be taken into consideration: diesel fuelled passenger cars, light duty trucks and city buses. The share of diesel fuelled cars in the car fleet was between 15-17% during the last 3 years but their yearly mileage is 2-3 times bigger compared to the petrol fuelled ones. The dominant part of light duty trucks is diesel fuelled. The potential for retrofit DPF in case of city buses can be seen in table 1. The vehicles belonging to the pre Euro and to the Euro -1 emission categories can be not taken into consideration due to their high age and being near to their scrapping. The high share of vehicles belonging to the Euro-2/3 emission categories may be led back to the first registration of imported used cars/light duty trucks/buses.

The above mentioned information are the basis for the necessity of measures to decrease particle emissions of the existing road vehicle fleets consequently for the evaluation of large scale use of retrofit DPF.

2. Methodology of tests and measurements

Test vehicles

The particle filters for buses were tested in first step on engine test bench. Most of the filters were tested with the same diesel engine (Rába D10 UTSL 160, Euro-2) The main parameters of this engine are the following: displacement 10349 cm³, a maximum effective power 160 kW (at revs of 1900 r/min) and maximum effective torque 955 Nm (at revs of 1200 r/min). The filters tested on this engine will be investigated in the second, follow-up phase of the project on city buses having the same type of engine. The DPF designed for VOLVO-made Euro-3 level city buses, was tested with another engine (Rába D10 TLL 225, Euro-3), because no Volvo-made bus engine was available during the bench tests. The parameters of this engine are as follows: displacement 10349 cm³, a maximum effective power 240 kW (at revs of 2100 r/min) and a maximum effective torque 1260 Nm (at revs of 1500 r/min).

The parameters of the IKARUS-made city bus are the following: type Ikarus 280.40, having the same Rába D10 UTSSL 160 engine as the on bench tested one. These buses are articulated ones, have ZF 4HP 500 automatic gear-box with 4+1 gears, a net weight of 14300 kg and a gross weight of 24890 kg. These test buses had been built between 1986 and 1993 (the fleet this type consist of 50-buses at the Budapest Transport Company BKV), but all these buses went through a rebuilding in the middle of the 1990'-s. All the test filters are retrofit into this series (also for their comparability), excepted the two Volvo-made bus filters, which are to be installed into Volvo 7700A buses of the BKV's fleet. Volvo 7700A buses have a diesel engine (Volvo D7C 275 HS, Euro-3) with a piston displacement of 7300 cm³, a maximum effective power of 202 kW and a maximum effective torque of 1200 Nm. These are articulated buses too, they were produced between 2004 and 2006, have ZF 5HP 592 automatic gear-boxes with 5+1 gears, a net weight of 17440 kg and a gross weight of 28000 kg.

For testing the particle filters produced for passenger car the test car was an Opel Astra G 1.7 DT and the tested light duty truck was aRenault Trafic T42B. The Opel Astra - which had been produced in 2006 - has a diesel engine with a displacement of 1686 cm³, a power of 59 kW and it belongs to the emission category Euro 4. The car has a 5+1-geared manual gear-box, a net weight of 1205 kg and a maximal gross weight of 1745 kg. The Renault Trafic - which had been produced in 1994 - has a diesel engine with a displacement of 1499 cm³, a power of 62 kW and its emission category is Euro-1. This light duty truck has a 5+1-geared manual gear-box, a net weight of 1490 kg and a maximal gross weight of 2650 kg.

The diesel fuel used for the engine tests as well as during the field tests was commercial one having low sulphur content ($S < 10$ ppm).

Tested retrofit particle filters

Regarding the mode of operation all of the tested DPF have passive regenerations using NO₂ and catalysed filter that is they belong to the catalysed continuously regenerating trap systems (CCRT). In case of the city buses wall flow (full flow) and partial flow DPF were tested, in case of the passenger car and the light duty truck only partial flow DPF were used. The substrates were depending on the manufacturer ceramics honeycomb structure and foam, sintered metal. In case of the city bus the original silencer was replaced by the DPF. Figure 3 shows the setting of the original silencer, and on the figure 4. the fitting in of DPF made by BAUMOT can be seen.

Test methods and equipments

The measurement of DPF for city bus engines were made according to the ECE-R-49.02 regulation on engine test bench that is the 13-mode steady-state procedure was made.

The measurements of DPF for passenger car and light duty vehicle were carried out according to the ECE-R-83.05/2 regulation on a chassis dynamometer.

In both cases full flow dilution tunnel and PDP pump were used. The emission measurements were made by the Pierburg AMA 2000 exhaust gas analyser system

The smoke emissions were measured at free acceleration according to the ECE-R-24. regulation using the Opacimeter made by AVL type 439.

For measurement of fine particles a condensation particle counter CPC TSI made 3022A type-and the size spectrum by a GRIMM made 1.109-type spectrophotometer were used.

The effects of the DPF on the engine of the retrofitted vehicle were evaluated by measurements of the back pressure downstream before the silencer, DPF respectively in case of passenger car at $v=100$ km/h and full load on chassis dynamometer in case of the city buses at acceleration with full load and at 50km/h speed. Beside the back pressure the acceleration times were registered at acceleration on full throttle between two values of speeds.

The continuous operation of DPF is controlled by CPK made DYNTEST AML datalogger system which monitors the back pressure and inlet temperature of DPF. The monitored data are evaluated by special software.

3. Results of the tests

DPF for city buses

Table 2 shows the main parameters and efficiencies of emission reductions calculated from the results of engine test bench measurements for all of the tested DPF. The CO and HC emissions were reduced in average 70-90% by the investigated CRT-DPF due to the oxidation catalyst. The reduction of NO_x is not significant. The particulate emissions were reduced in case of wall flow type DPF by 90-94% measured at the 13-Mode Test and by 94-99% measured at free acceleration. The reduction of the particulate emissions in case of partial flow type DPF were 46-60% measured at the 13-Mode Test and 22-63% measured at free acceleration.

The measured values without and with the BAUMOT made DPF are shown in table 3. It has to be highlighted that the reduction of particle numbers (fine particles is much bigger than that of the particle emission measured gravimetric technique. The same conclusion can be drawn on the basis of figure 7 where the numbers of particles are shown separately for each mode of the 13-mode test. Figure 5 shows the development of back pressure and exhaust gas temperature at the inlet of DPF as well as the surface temperature of the DPF in real life operation. Figure 6 shows the frequency distribution of back pressure and exhaust gas temperature at the inlet of DPF. On the basis of the development and frequency of the back pressure one can conclude that the DPF is working well.

DPF for passenger car and light duty vehicle

Table 4 shows the main parameters and efficiencies of emission reductions calculated from the results driving cycle measurements. Where no value is given there no measurable change could be measured. It has to be mentioned that all of the investigated DPF were partial flow type. The reduction of CO and HC emissions is fluctuating remarkably between 20-75% depending on the operation of the oxidation catalyst. No definite change in the NO_x emission could be determined. The particulate emissions were reduced in case of the driving cycle tests 20-45% and 17-50% measured at free acceleration depending on the mileage. The increase of the mileage resulted in the decrease of PM emission measured by gravimetric method.

Conclusions

In this project the efficiencies of emission reduction, reliability of retrofit DPF for city bus, passenger car and light duty truck were evaluated in laboratory according to the EU emission regulations and in real life operation.

On the basis of the test results and experiences of real life operation it can be expressly declared that in case of engines being in good technical condition the retrofitting of DPF enables an effective decrease of the particle emission (in case of wall flow type DPF the particle emission practically was ceased). The retrofit of DPF is realisable both technically and economically. The retrofit and operation of DPF having good efficiency needs however a careful preparation and a good-organised maintenance of the engine. The reduction of particle emissions in case of wall flow kind DPF can be evaluated reliably only on the basis of counting and size distribution of particles. The function of DPF in real life can be well monitored on the basis of the back pressure downwards to it.

It has to be mentioned that as soon as the Euro-6 emission level will introduced, the majority of the engines of the buses will be equipped with DPF. One can reckon with this within 2-3 years, thus the retrofitting of the filters can be regarded as the preparatory process of the introduction of the new cleaning technology of exhaust gases.

The tests of passenger car have shown that only the retrofit of partial flow filters can be economically justified. This kind of DPF improves of the particle emissions usually only by one emission category (for example: instead of Euro-2 it will be Euro3).

Regarding the home introduction of the DPF on the basis of the test results the following conclusions and proposals can be made:

The retrofitting of the DPFs can be considered as efficient and reliable mean for the decrease of particle emissions especially that of the fine particles. They have already been put into practice in several countries with favourable results. The criterion of the large scale home introduction of retrofit DPF are the elaboration of unified qualification, government control system and the supporting strategy.

Acknowledgements

The authors wish to thank to all co-workers involved in this project. We are also grateful to the Ministry of Transport, Communication and Energetics as well as to the Transport Company of Budapest for their financial and technical support.

References

- Kittelsohn D.B.(2008): Physics of Solid Particles Emitted by IC-Engines Paper on Course on Ultrafine Diesel Particles and Retrofit Technologies for Diesel Engines South Coast Air Quality Management District Diamond Bar California November 12, 2008
- Lehmann U. Mohr M. (2000): Influence of different configurations of a catalyst and a trap on particulate emission of a diesel passenger car 9th Int. Symposium Transport and Air Pollution Avignon5-8. 06. 2000 Proceedings Vol. 1 p. 231-238.
- Majewski W.A.; Khair M.K. (2006): Diesel Emissions and their Control SAE International 2006 USA
- Mayer A. and 81 Co-Authors (2005): Elimination of Engine Generated Nanoparticles Haus der Technik Fachbuch Band 58 Expert Verlag 2005 Renningen
- Mayer A. and 50 co-authors (2008): Particle Filter Retrofit for all Diesel Engines Haus der Technik Fachbuch Band 97 Expert Verlag 2008 Renningen
- Van POpel M. Lenaers G.(2005): Real life evaluation of the emission reduction potential of a city bus retrofitted with a continuous regenerating trap Atmospheric Environment Vol. 39.Issue 13. April 2005 p 2451-2457.

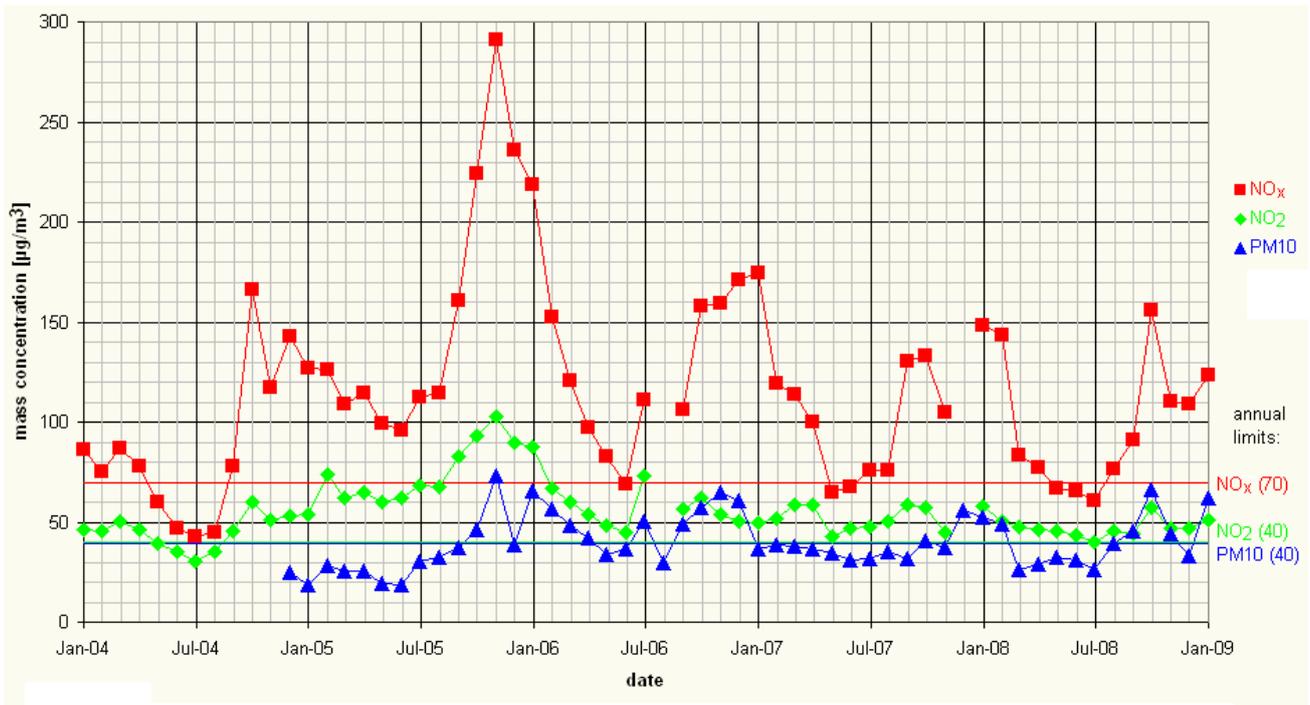


Figure 1: Monthly average values of PM₁₀ and NO_x/NO₂ on Kosztolányi Square, Budapest XI. Source of data: Hungarian Air Quality Monitoring System (station "BP6 Kosztolányi")

Limit value	55 µg/m ³	50 µg/m ³	50 µg/m ³	50 µg/m ³	50 µg/m ³
Year	2004	2005	2006	2007	2008
Measuring station					
Gilice Square Budapest XVIII	25	107	71	43	46
Széna Square Budapest I	90	24	33	9	32
Baross Square Budapest	149	133	90		
Pesthidegkút Budapest II	54	76	46	13	1
Kőrakás Park Budapest XV	49	115	163	96	74
Kosztolányi D. Sq. Budapest XI		55	152	68	90
Honvéd Sp. Centre Budapest XIII	115	136	160	106	39
Erzsébet Square Budapest V	48	164	153	117	49
Gergely Street Budapest X			76	43	30
Nagytétényi Road Budapest XXII		83		61	97
Szt. István Road Budapest XXI				102	64
Teleki Square Budapest VIII					52

Allowed occurrence for limit exceeding days during a calendar year: 35.

Data over the allowed occurrence level signed with bold.

Data availability between 100-90%.

Data availability between 90-75%.

Data availability between 75-50%.

Not to evaluate (data availability less than 50%).

The component not measured.

Figure 2: Annual occurrences of 24-hour limit exceedings for PM10, in air pollution measuring stations of Budapest



Figure 3: Rába D10UTSLL160 diesel engine with the original silencer in a bus of Ikarus 280.40 type

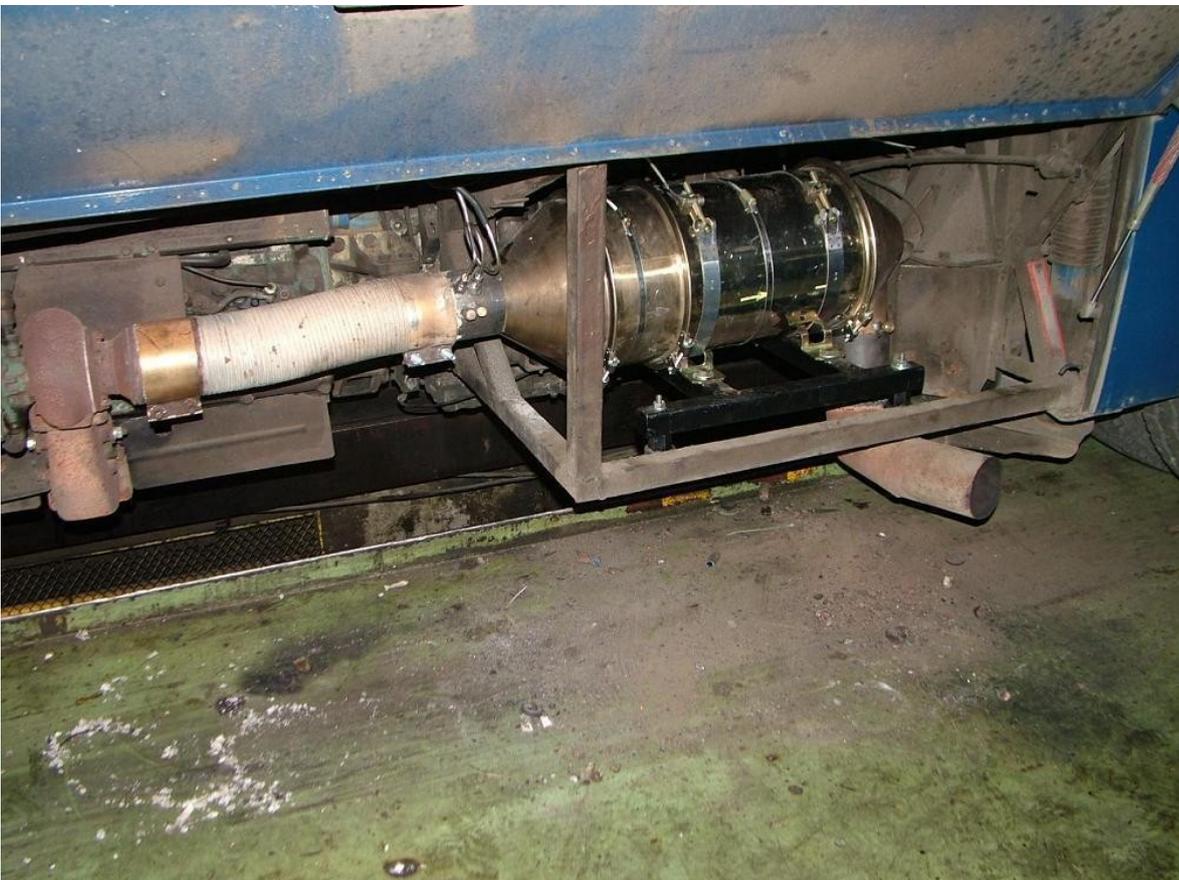


Figure 4: Rába D10UTSLL160 engine with Baumot BA1012 particle filter in a bus of Ikarus 280.40 type

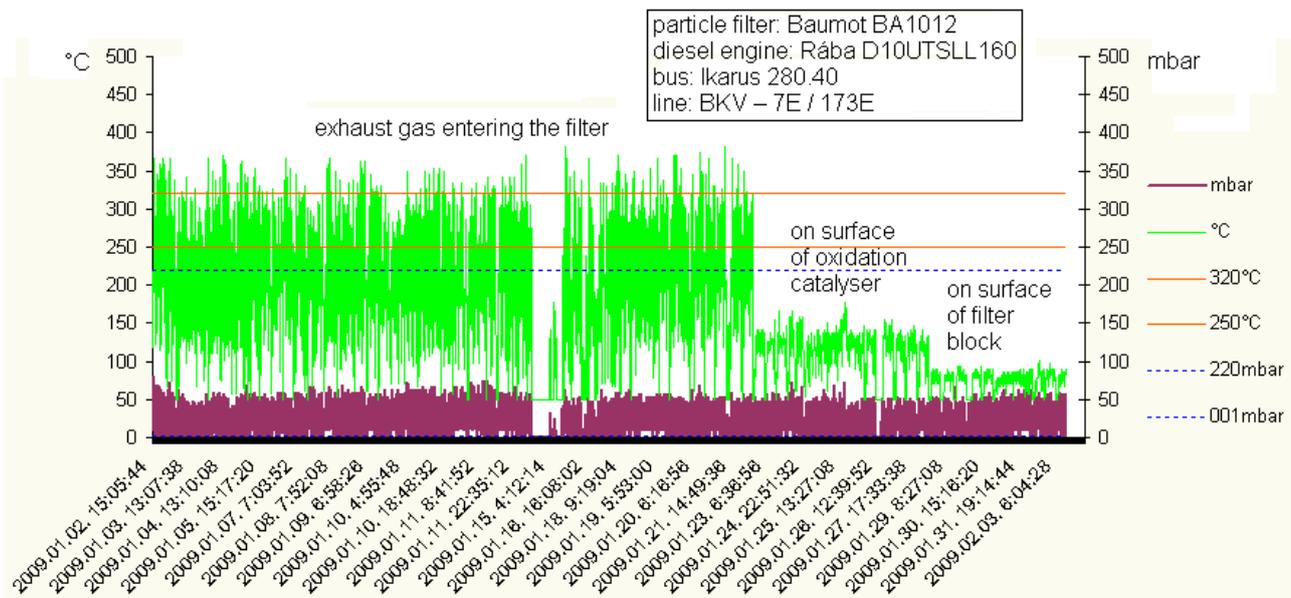


Figure 5: Exhaust back pressure, exhaust gas temperature and surface temperatures of diesel particle filter profiles measured during bus operation

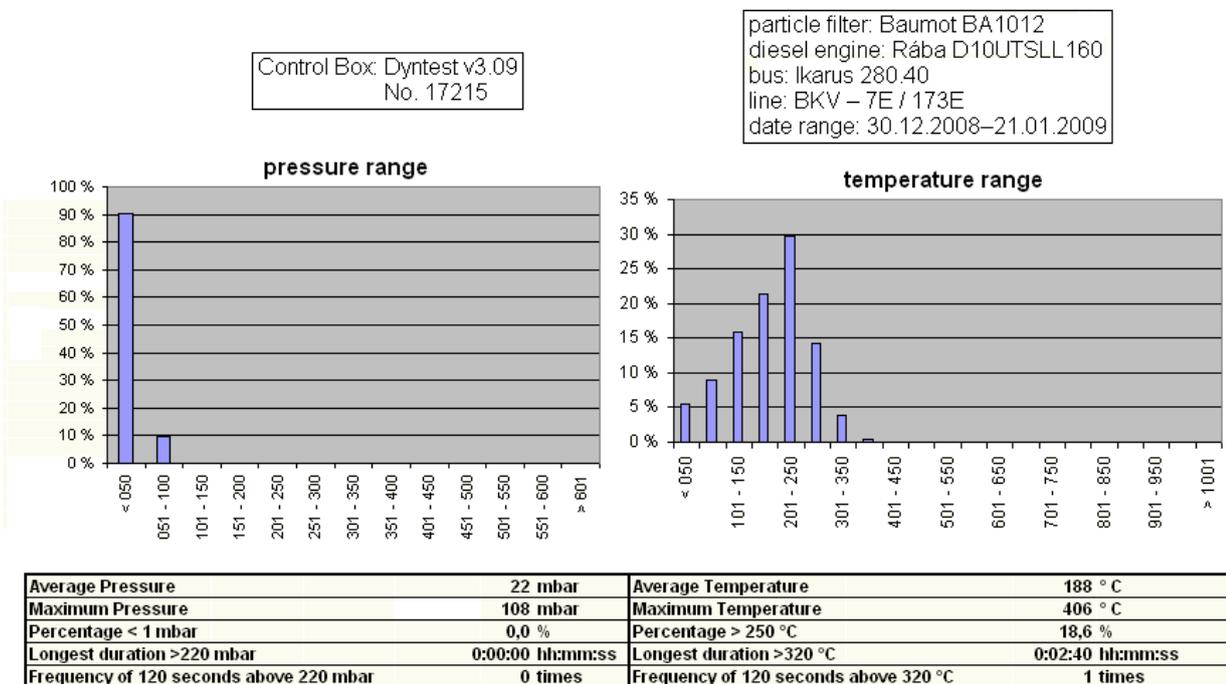


Figure 6: Histogram of exhaust back pressure and exhaust gas temperature at particle filter entrance in an urban bus, measured during bus operation

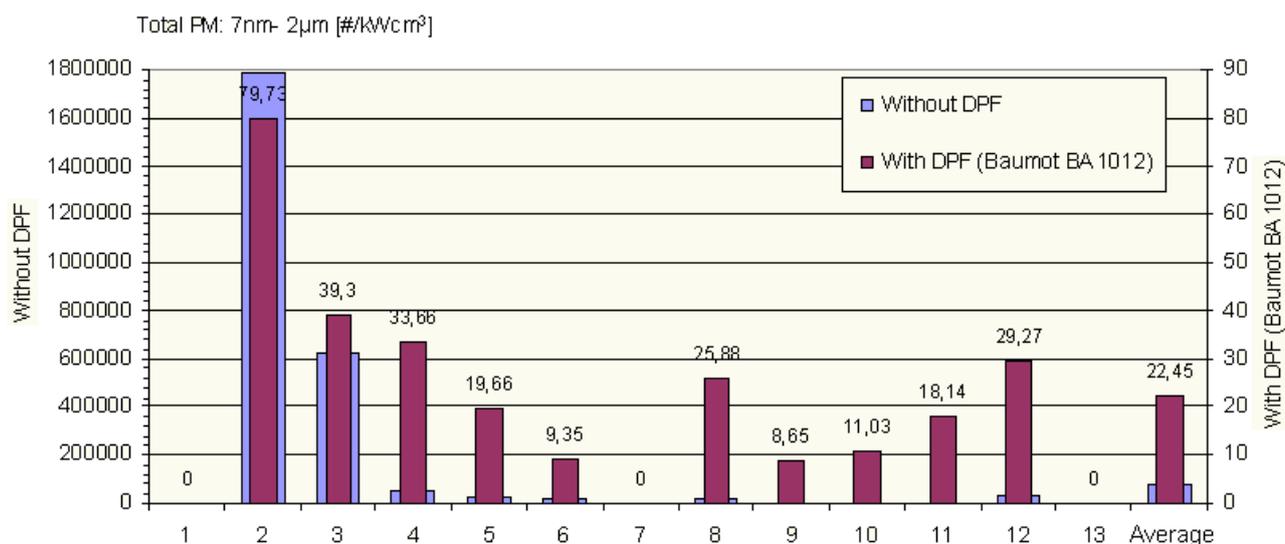


Figure 7: Particle emission without and with wall flow DPF (type: Baumot BA1012) (measured according to ECE 49.02.)

bus data						engine data			
bus type	gross weight [kg]	net weight [kg]	average age [year]	fleet [db]	fleet [%]	engine type	emission rating	displ. [cm³]	power [kW]
Ik 260, Ik 280	17890/24890	9650/14300	20	105	7,3	Rába D2156 HM6U	Euro 0	10350	141
Ik 260, Ik 280	17890/24890	9650/14300	18	44	3,1	Rába D2156 MT6U	Euro 0	10350	164
Ik 260	17890	9650	15	1	0,1	Rába D2356 HM6U	Euro 0	10688	176
Ik 260, Ik 280	17890/24890	9650/14300	16	179	12,5	Rába D10 UTS 150	Euro 0	10350	150
Ik 415	16200	9950	15	130	9,1	DAF LT 160G	Euro 0	11630	160
				459	32,0				
Ik 260, Ik 280	17890/24890	9650/14300	16	370	25,8	Rába D10 UTS 155	Euro 1	10350	155
Ik 415	16200	9950	14	39	2,7	DAF LT 160L	Euro 1	11630	160
Ik 415, Ik 435	16200/24550	9950/14300	13	169	11,8	DAF LT 195L	Euro 1	11630	198
				578	40,3				
Ik 280.40	24890	14300	14	50	3,5	Rába D10 UTSLL 160	Euro 2	10350	160
Ik 435	24550	15100	11	1	0,1	Rába D10 UTSLL 190	Euro 2	10350	190
Ik 415	16200	9950	11	1	0,1	DAF GS 160M	Euro 2	11630	160
Ik 435	24550	15100	11	1	0,1	DAF GS 200M	Euro 2	11630	200
Ik 412	17400	10600	7	114	7,9	MAN D 0826 LOH 17	Euro 2	6871	164
Ik 435	24550	15100	11	1	0,1	MAN D 2865 LUH 07	Euro 2	11970	230
Ik 405	8330	5200	12	80	5,6	Perkins AL 81072	Euro 2	3980	101
				248	17,3				
Volvo	28000	17440	2	150	10,4	Volvo D7C 275 HS	Euro 3	7300	202
Irisbus Agora	28500	17080	6	1	0,1	Iveco Cursor 8	Euro 3	7790	200
				151	10,5				
Ik = Ikarus				total:	1436				
									100,0

Table 1: Composition of bus fleet of BKV company in August 2007

product	type	construction	particle filter			emission reduction [%]				
			principle	mass [kg]	back pressure* [mbar]	NO _x	CO	HC	PM	smoke**
DCL	3150-FF-5S55-21	honeycomb	full flow	28,7	187	9,3	91,3	88,9	91,5	99,1
DCL	3150-DQ-AS12-X4		partial flow	18,9	123	6,1	90,0	81,0	46,6	21,7
DCL	9582-FF-5C55-21	honeycomb	full flow	60,5	151	0,6	92,4	83,3	90,0	96,0
DCL	B416-SF-BN12-X3		partial flow	44,7	167	1,8	80,4	66,7	61,4	62,8
HJS	94622034	sinter metal	full flow	58,0	128	4,2	84,4	94,1	92,9	93,2
Remus	B12		partial flow	48,7	115	4,2	85,1	77,8	58,5	56,5
GAT Eurokat	DPX1 870.30850 I. prototyp.	honeycomb	full flow	37,6	167	4,8	86,1	88,9	88,6	93,5
GAT Eurokat	870.01.30850 II. prototyp.	ceramic foam	partial flow	35,6	273	4,5	80,2	77,8	58,1	43,9
GAT Eurokat	870.01.30850 III. prototyp.	ceramic foam	partial flow	35,2	309					30,1
Baumot	BA1012	honeycomb	full flow	15,5	160	4,8	86,1	88,9	88,3	99,3
Volvo **	70330450		full flow	29,2	213	-0,9	70,0	80,0	93,6	96,8

* maximal value measured at ECE-R24

** at free acceleration

Table 2: Parameters and engine test results of CRT particle filters for urban buses (test engine: Rába D10UTSLL160, in case ** Rába D10TLL255)

	CO [g/kWh]	CH [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	NO ₂ [g/kWh]	PM gravimetric [g/kWh]	PM fine [#/kW cm ³]	Smoke [m ⁻¹]
Without DPF	1,01	0,18	6,66	0,87	0,06915	72036,3	0,301
With DPF	0,14	0,02	6,34	1,79	0,00806	22,32	0,002

Limit values:

Euro 2	4	1,1	7	0,15
Euro 3	2,1	0,66	5	0,1

Table 3: Summarized results of the bench tests made by BAUMOT type DPF

tested vehicle	product	type	construction	principle	mass [kg]	back pressure without / with filter [mbar]	particle filter					emission reduction [%]					mileage at time of measurement [km]
							NO _x	CO	HC	PM	NO _x	CO	HC	PM	smoke***		
Opel Astra 1,7 CDTi	Remus RFK2	partial flow	3,56	partial flow	151 / 303*	-21,7	60,0	58,3	27,7	0,4	42,9	34,6	36,0	base test			
					297*	6,5	20,0	26,1	8,1	28,6	31,9	32,1	3300				
					281*	8,5	36,8	21,1	29,0	3,2	18,2	28,6	36,3	7600			
					284*	-19,9	61,5	42,9	15,7	6,5	50,0	20,9	30,4	13500			
					328*	-4,7	40,0	25,0	43,8	4,2	44,9	51,2	base test				
	Remus RFK1	partial flow	2,97	partial flow	389*	-9,6	50,0	22,2	7,7	-4,1	23,7	18,7	1000				
					396*	22,0	29,6	20,8	17,1	17,0	3000						
					286*	-12,9	25,2	-6,5	30,1	41,8	base test						
	HJS DPF-08	without catalyser	partial flow	7,15	partial flow	281*	-2,5	23,7	1,2	30,3	550						
						323*	-6,4	13,8	-1,2	19,3	26,1	16500					
Renault Traffic	DCL	B407-SF-AS07-X3	with catalyser	partial flow	197 / 203**	1,1	75,6	52,1	43,0	3,0	81,9	59,8	41,6	50,5	base test		
					223**	4,9	66,7	41,3	40,8	3,7	70,6	43,9	39,2	33,3	6200		

* maximum value measured at full load (v = 100 km/h)

** maximum value measured at full load (v = 90 km/h)

*** at free acceleration

Table 4: Parameters and European driving cycle test results of CRT particle filters for passenger car and light duty truck

The influence of a “de minimis” clause on the CO₂ emissions of developing countries’ flights to or from the European Union – A Belgian case-study

Julien Matheys , Jean-Marc Timmermans , Nele Sergeant , Heijke Rombaut ,
Fayçal Boureima & Joeri Van Mierlo

Vrije Universiteit Brussel, Research Team for Mobility and Automotive
Technology (MOBI), 1050 Brussels, Belgium
Fax: +32 2 629 36 20 – e-mail: jmatheys@vub.ac.be

Résumé

Ce document a pour but d’analyser l’influence d’une possible clause “de minimis” dans le cas où le système d’échange d’émissions européen (EU-ETS) serait étendu à l’aviation (internationale). Une clause “de minimis” a pour effet d’introduire un seuil à l’intégration d’une compagnie aérienne (ou opérateur) ou d’un appareil en particulier dans le système d’échange. Ce seuil peut par exemple être un seuil au niveau du poids de l’appareil ou un seuil au niveau de la fréquence annuelle des vols d’un opérateur donné depuis ou vers l’UE. Le présent travail se focalise principalement sur le paramètre “fréquence”, ainsi que sur son influence sur les activités aériennes entre les aéroports belges et les pays en voie de développement en particulier.

Une analyse des vols réguliers permet d’estimer le nombre de vols exemptés, ainsi que la proportion des émissions de CO₂ qui serait exclue du système dans l’hypothèse où la clause serait adoptée, par rapport à la quantité totale des émissions incluse dans le système. Etant donné que l’analyse se limite aux aéroports situés sur le territoire belge, les conclusions formulées ne peuvent être extrapolées à toute l’UE sans analyser la situation pour chaque état-membre de manière plus approfondie. Ceci s’explique par le fait que le seuil limite pour l’intégration des activités d’un opérateur est basé sur le total des activités de cet opérateur précis sur le total des territoires nationaux des 27 états-membres de l’UE.

Mots-clefs: *système européen d’échange d’émissions, aviation, clause “de minimis”, émissions de CO₂.*

1. Introduction

Transportation is one of the sectors for which a substantial effort is required if the international community wants to reach the commitments of the Kyoto protocol. Rail and road transport are both included in what currently remains the main

worldwide attempt to tackle climate change. However, concerning aviation, the Kyoto protocol objectives only concern emissions from domestic flights and thus don't include emissions from international flights. The Kyoto protocol requires that Annex I countries: "...pursue limitation or reduction of [Greenhouse gas emissions from aviation], working through the International Civil Aviation Organization (ICAO)...". In 2001, the ICAO endorsed the development of open emissions trading for international aviation. The possibility of integrating the (international) aviation sector in the climate policy is more and more considered both at the European level and in the context of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). More specifically, the extension of the European Union's Emission Trading Scheme (EU-ETS) is being evaluated and developed right now by the European Union under great international attention.

The intensity of air travel has never been as high as it currently is (Airbus, 2004; IATA, 2007). Providing unseen exchanging possibilities and comfort to travelling people around the world, the current growth in international air traffic also threatens the potential beneficial achievements of the efforts made in other sectors towards reducing their contribution to global warming.

With this in mind, the European Commission proposed to include the aviation sector in the EU-ETS, while capping the emissions to 100% of the aircraft operators' average emissions during the period 2004-2006. The European Parliament went even further, proposing to reduce the authorized emissions to 90% of this total. Recent signals indicate a cap of 97% will be applied in a first phase and a 95% cap would be used promptly in a subsequent second phase. This "cap" sets a limit to the total amount of CO₂ emissions for the participants to the scheme. Part of the permits for this total will be allocated to operators free of charge, while others will be auctioned amongst the participants. Concerning the timing for the different types of flights (intra- vs. extra-EU flights), as opposed to the 2-phase approach which had been proposed by some, it currently seems likely that there will be no distinction between intra-EU and extra-EU flights and that effective extension of the EU-ETS will be performed for both in 2012.

In the context of the inclusion of aviation in the EU-ETS, the European authorities are evaluating the possibility to include a "de minimis" clause to the newly proposed directive. This clause states that operators performing less than a defined yearly number of flights to or from the European Union would be exempted from participation to the EU-ETS. The current proposal suggests that airlines operating less than 243 flights to/from the EU per 4-month period, during three consecutive periods or emitting less than 10 000 tons of CO₂ per year would be exempted from the scheme. This threshold corresponds to approximately two one-way flights per day.

Next to the discussion about the “de minimis” clause is the issue of the allocation of the revenues of the auctions. Some members of the European parliament suggest earmarking these revenues to use them to finance climate change initiatives in the developing world. Others suggested using the revenues to limit European climate impact by encouraging low-carbon transportation as a whole, for example through additional financing of public transport or through the additional financing of research. However, it seems the legislations of some member states make it impossible to implement such an earmarking on public revenues and therefore it seems likely that the legislative text will remain a mere “recommendation” to use the revenues for climate change prevention and mitigation, rather than a real mandate on how to spend the funds.

2. Aviation and Climate

On a worldwide scale CO₂ is, by far, the emission that impacts climate in the strongest way. This explains the focus of the EU-ETS on the emissions of this gas. However, aviation presents some specific climate-related characteristics resulting from other emissions which are largely emitted in the higher troposphere and in the lower stratosphere.

Nitrogen oxide emissions (NO_x) of subsonic aircraft tend to decrease the lifetime of the greenhouse gas methane (CH₄) that is present in the atmosphere. Also, NO_x emissions tend to increase ozone production in the higher troposphere. This ozone is a very short-lived greenhouse gas.

Besides this, aviation induces condensation trails (contrails) and possibly also the formation of cirrus clouds. The total impact of aviation on climate is believed to be two- to four-fold (Figure 1) that of CO₂ alone (Sausen et al., 2005). However, as the effects of the different gases are differentiated in both time and place from the effects of CO₂, the use of a multiplier for the calculation of the overall effects of aviation on climate might be an oversimplification.

Based on some results from the TRADEOFF project, Sausen et al. (2005) performed an update on radiative forcing or RF (the difference between incoming radiative energy and outgoing radiative energy of the Earth) from aviation and compared different studies dealing with aviation and radiative forcing (Figure 1). Although the influence of aviation on climate is larger than the impact of its CO₂ emissions only, the focus of this paper will be on CO₂ emissions.

3. Objectives

The main objective is to evaluate the influence of the implementation of a “de minimis” clause to the extension of the EU-ETS. Two main goals are advocated for the implementation of this clause. Firstly, it will reduce the administrative burden for companies with low activities to and from the EU as well as for the European administration managing the system. Secondly, it is aimed at shielding

(often small) companies in developing countries with little resources and limited activities to and from Europe. Moreover, it might help in convincing non-EU countries to participate in the EU-ETS.

The approach used to assess the influence of this clause is an analysis of the flights performed between the Belgian airports and airports located in developing countries. Typically, these countries are located in 5 ICAO code zones (Figure 2): D-G (Western Africa), H (Eastern Africa), F (Central and Southern Africa), M (Central America and the Caribbean area) and S (South America).

Table 1 lists the countries in these zones to or from which flights were operated in 2007. As a consequence, if a country is not listed in the table, it doesn't necessarily mean it is not taken into account in the analysis, but it might rather mean that no flights were operated between that country and Belgium in 2007. As an indication, the countries located south of the red lines in figure 2 are included in the current analysis.

4. Approach for the quantification of the different flight types and their emissions

The calculation method is based on the approach used in the Belgian Federal Research project "ABC Impacts" or "Aviation and the Belgian Climate Policy: Integration Options and Impacts" (ABCI, 2008). The calculations are based on data provided by the Belgian Air Traffic Management operator (Belgocontrol) and include all instrument flight routes (IFR) activities taking place in the Belgian air space. For flights with a stop-over, only the leg including a landing or take-off on a Belgian airport is included.

Based on these data, several kinds of flights will be excluded from the analysis to focus exclusively on flights between Belgium and developing countries in Africa and Latin America. The excluded flights are: flights between Belgium and industrialized countries, flights operated by the main operators performing scheduled flights (which easily overpass the threshold value for an exemption to participate in the EU-ETS), and flights to or from Mediterranean countries with a highly developed tourist activity. The remaining activity will be the flight operations to or from developing countries which might be exempted from the scheme (potentially exempted activities).

In the next step, the Corinair methodology (EMEP/Corinair, 2003) will be applied to calculate fuel consumption and CO₂ emissions related to the flights described above. The fuel consumption and its consequent emissions depend on the type of aircraft, the occurring flight phase and the covered distance. The total fuel use was calculated by adding the average fuel uses of the different type aircraft which were obtained through a linear regression of the fuel use/emission data for the climb-cruise-descent data provided in EMEP/Corinair (2003). The distance used

to calculate the fuel consumption and emissions was the great circle distance (“as the crow flies”) from Brussels to the capital of the concerned country. This might lead to a slight underestimation of the distances, nevertheless it doesn’t impede drawing conclusions as the orders of magnitude between the different flights remain very similar. Finally, the emissions will be compared to the emissions (from these same countries) which will certainly be included in the scheme. Also the potential number of exempted flights will be put in perspective with the total aviation activity in Belgium.

5. Results

The distributions of the number of flights (Figure 3) and of the CO₂ emissions (Figure 4) assessed in this analysis are shown below. Due to the fact that the number of type aircraft included in the EMEP/Corinair methodology is not completely exhaustive, only 98.7% of the flights could be included in this analysis, resulting in a total number of 4197 flights for the year 2007. This ratio has been estimated to be satisfactory to describe the general tendencies and to enable the drawing of conclusions. Five countries represent more than half of the flights included in this analysis, namely: Nigeria (678), Senegal (609), Cameroon (417), Kenya (381) and the Dominican Republic (359).

As the distances between the city-pairs as well as the aircraft types operating between the different city-pairs differ, the distribution of the CO₂ emissions (Figure 4) is slightly different from the distribution of the numbers of flights (Figure 3). Nevertheless, the five same countries contribute for more than half of the CO₂ emissions: Nigeria (95 485 tons), Senegal (56 011 tons), Kenya (55 322 tons), the Dominican Republic (46 533 tons) and Cameroon (45 273 tons).

When removing the flights operated by companies known to be not complying with the conditions to be exempted from the EU-ETS through the “de minimis” clause (operating more than the maximum number of flights to comply with the clause’s conditions), 8.7 percent of the flights and 10.3 percent of the CO₂ emissions are left as potentially concerned by an exemption through the “de minimis” clause, which doesn’t necessarily mean they effectively will be exempted.

6. Discussion

An overview of the potentially exempted flights and emissions was provided above. When the aviation activities to and from the countries analysed above (4 197 flights) are put into perspective with the total number of flights on Belgian airports during the year 2007 (319 868 flights), one should be conscious they represent only a limited fraction of the total aviation activities (1.3%).

As can be seen in Figure 5, the potentially exempted emissions and flights even only form a minority of the total aviation emissions (10.3%) and flights (8.7%) in

the analysed regions of the world. It might therefore be acceptable to exempt part of these activities to improve the efficiency of the system as a whole. Consequently the “de minimis” clause could be valuable. On the other hand, one should realise the situation described above is the worst-case scenario for 2007 (the scenario with the highest possible level of exemptions). This is due to several main reasons:

- 1) The potentially exempted flights might be operated by companies exceeding the threshold of the “de minimis” clause operating these routes less frequently and might therefore possibly not have been detected by the authors.
- 2) The potentially exempted flights might be military or humanitarian flights, which are exempted from the EU-ETS anyway.
- 3) Airlines or operators might remain under the threshold when looking at their activities on the Belgian airports only, but they might be exceeding this threshold if their activities in the entire EU were to be analysed. Consequently they wouldn't be exempted.

Nevertheless, this potentially exempted number of flights and emissions constitute a non-negligible fraction of the total emissions and therefore the “de minimis” clause should be implemented only after some more thorough analysis on an EU-wide scale. On the risk side, the European authorities should pay some special attention to avoid carbon leakage through potential foundation of new companies, created by existing operators with the aim to remain below the threshold of the clause and of the EU-ETS.

Acknowledgments

The authors wish to thank the Belgian Federal Science policy (Belspo) for their financial support of the ABC Impacts project.

References

- 1- ABCI (2008). Aviation and the Belgian Climate Policy: Integration options and Impacts: www.climate.be/abci
- 2- Airbus (2004). Global Market Forecast 2004-2023. 81 p.
- 3- EMEP/Corinair (2003). Update to the third edition of the joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. Group 8: Other mobile sources and machinery. Air traffic.
- 4- IATA (2007). IATA Economic briefing/ Passenger and Freight forecasts 2007 to 2011, October 2007, 4 p.
- 5- R. Sausen, I. Isaksen, V. Grewe, D. Hauglustaine, D. Lee, G. Myhre, M. Köhler, G. Pitari, U. Schumann, F. Stordal, C. Zerefos (2005): Aviation radiative forcing in 2000: An update on IPCC (1999). *Meteorologische Zeitschrift*. Vol. 14., n° 4, p 555-561.

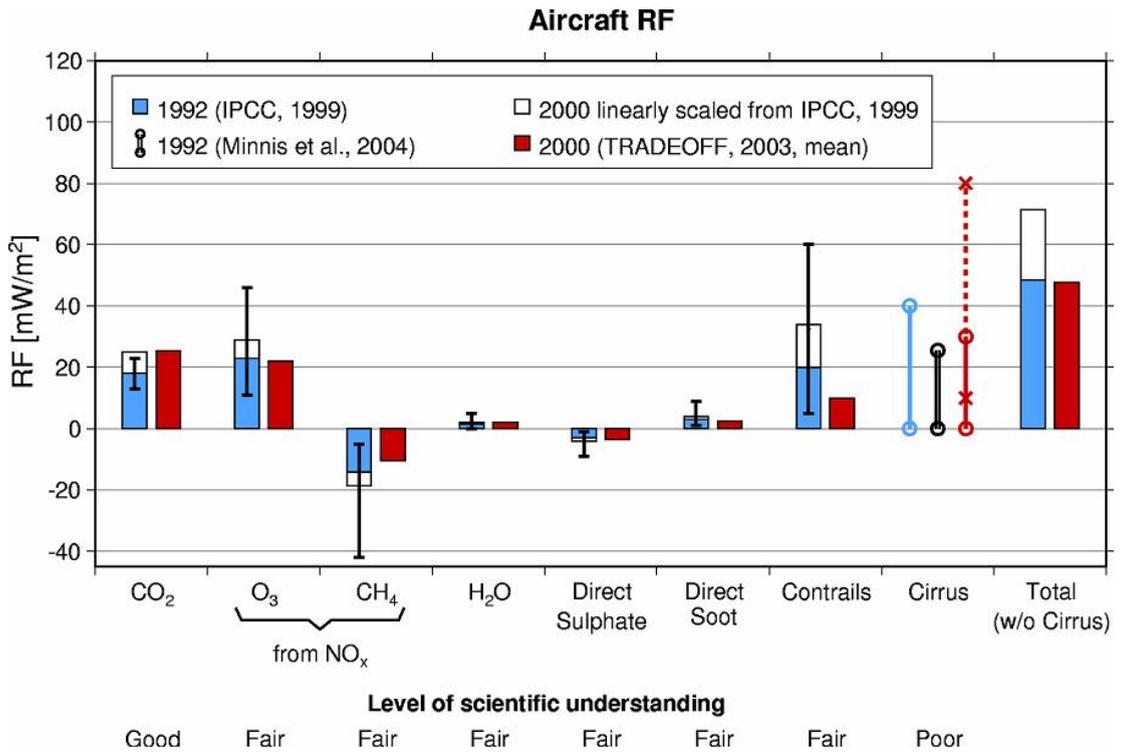


Figure 1: Climate effects of aviation, including the level of scientific understanding of the different impacts (Sausen et al., 2005). RF stands for Radiative Forcing and reflects climate impact.

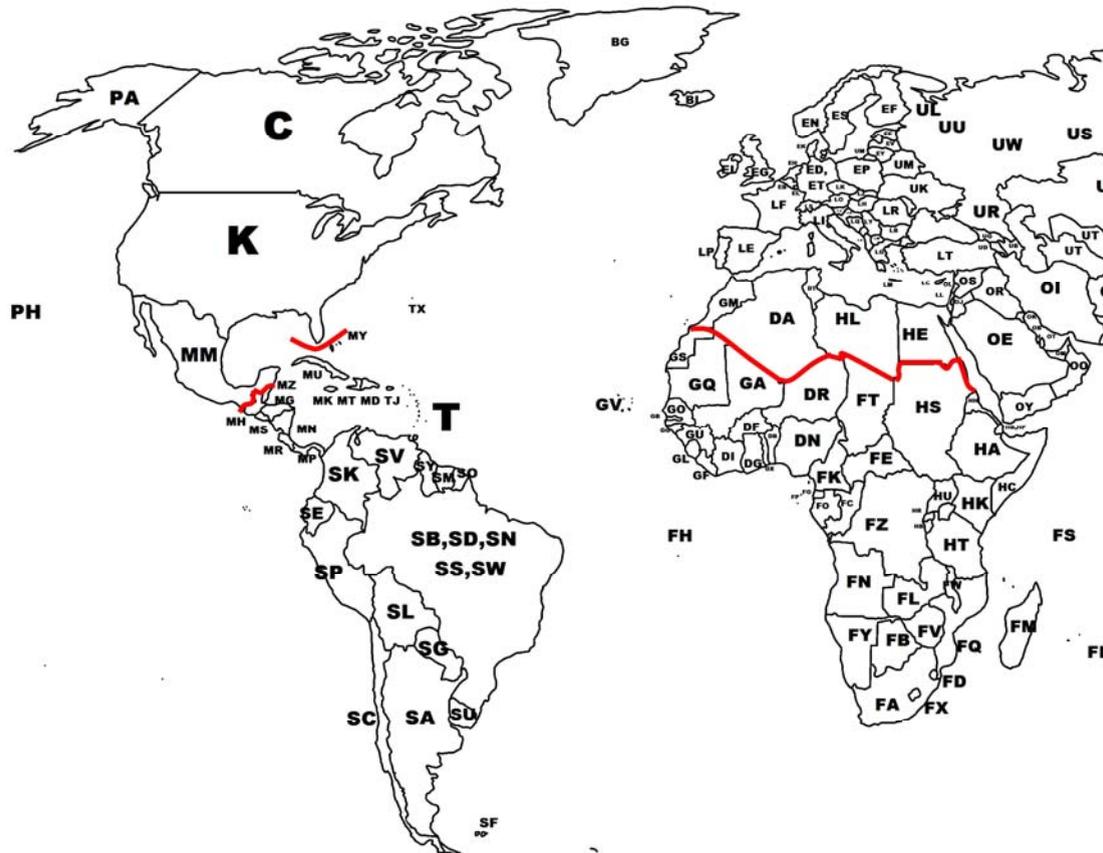


Figure 2: ICAO codes for several airport zones, with Western Africa, Eastern Africa, Central Africa + Southern Africa, Central America + Caribbean and South America respectively indicated through the letters D-G, H, F, M and S.

Table 1: List of the countries included in the analysis of the flights to and from Belgium with their respective ICAO codes.

	Country		Country		Country
DB	Benin	FT	Chad	HB	Burundi
DF	Burkina Faso	FW	Malawi	HH	Eritrea
DG	Ghana	FY	Namibia	HK	Kenya
DI	Ivory Coast	FZ	Democratic Rep Congo	HR	Rwanda
DN	Nigeria	GA	Mali	HS	Sudan
DR	Niger	GB	Gambia	HT	Tanzania
DX	Togo	GF	Liberia	HU	Uganda
FA	South Africa	GG	Guinea-Bissau	MD	Dominican Republic
FB	Botswana	GL	Sierra Leone	MK	Jamaica
FC	Congo (Brazzaville)	GO	Senegal	MP	Panama
FE	Central African	GQ	Mauritania	MU	Cuba
FG	Equatorial Guinea	GU	Guinea	SB	Brazil
FK	Cameroon	GV	Cape Verde	SP	Peru
FN	Angola	HA	Ethiopia	SV	Venezuela
FO	Gabon				

Table 2: Type aircraft with CO₂ emission factors per km (left column) and per landing and take-off cycle LTO (kg/LTO) (EMEP/Corinair, 2003).

Type aircraft	CO ₂ (kg/km)	CO ₂ (kg/LTO)
A310	15.28	4 853
A320	8.63	2 527
A330	20.41	7 029
A340	22.18	6 363
BAC1-11	7.97	2 147
BAe146	8.69	1 794
B727	14.02	4 450
B737 100	8.95	2 897
B737 400	9.54	2 600
B747 100-300	37.58	10 754
B747 400	34.27	10 717
B757	12.10	3 947
B767 300 ER	16.60	5 094
B777	24.07	8 073
DC9	9.67	2 760
DC10	28.35	7 501
F28	7.59	2 098
F100	8.03	2 345
MD82	10.90	3 160

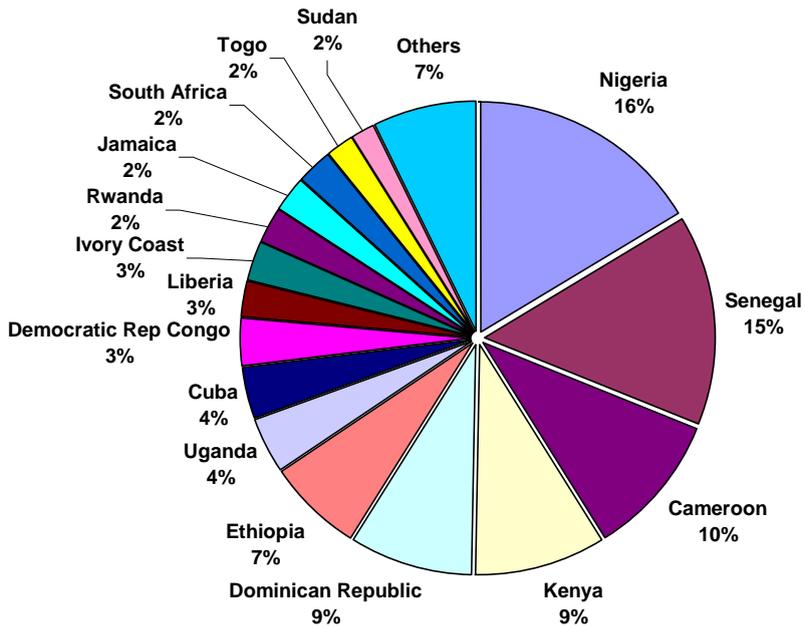


Figure 3: Distribution of the number of flights (4 197 in total) related to the assessed aviation activity by country of origin or destination.

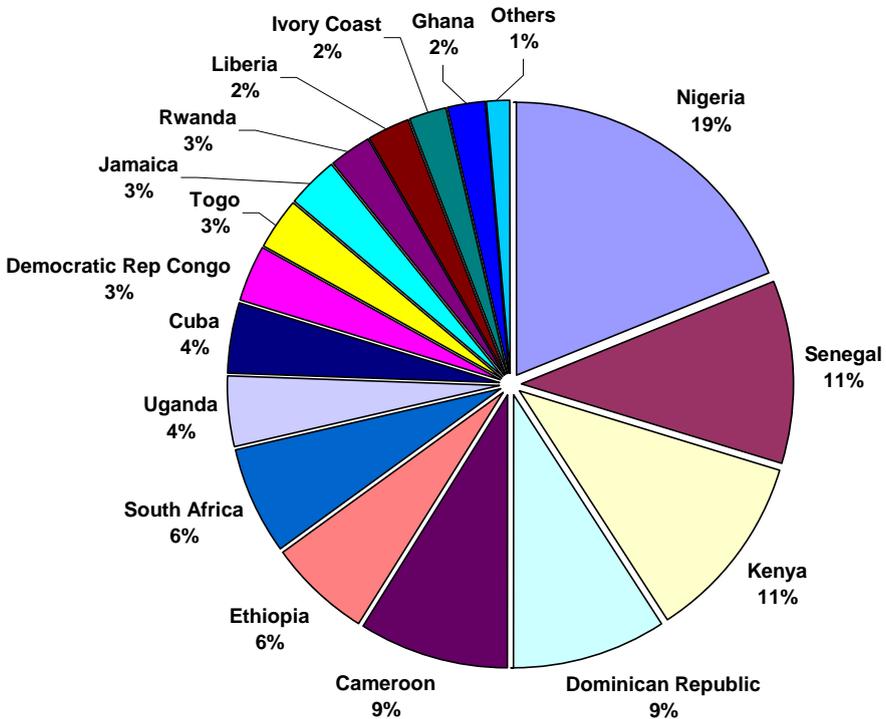


Figure 4: Distribution of the CO₂ emissions (539 370 tons in total) related to the assessed aviation activity by country of origin or destination.

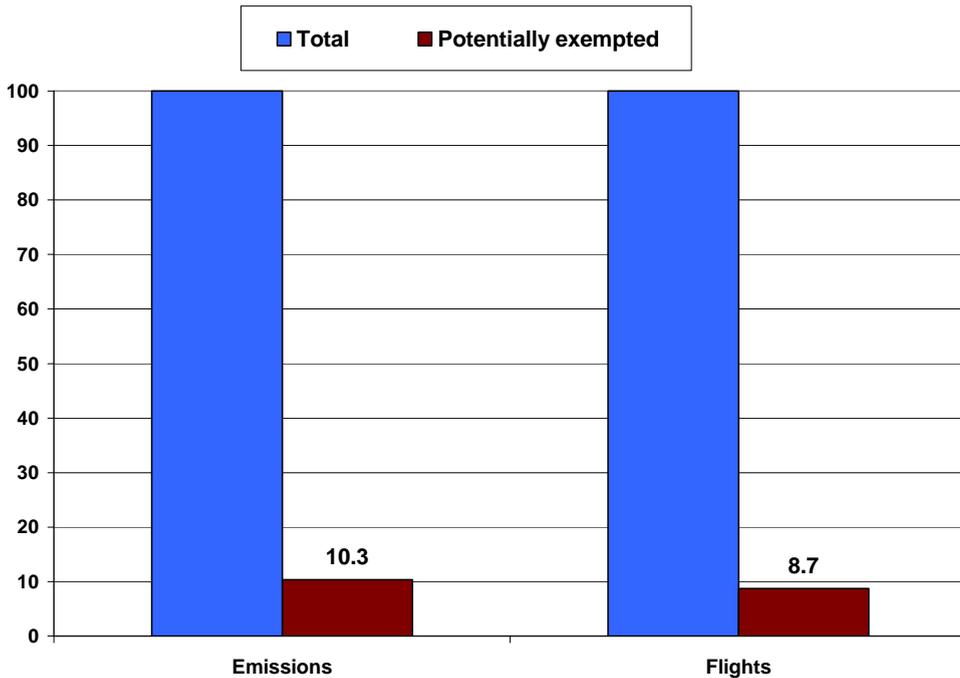


Figure 5: Comparison of the relative quantity of emissions (left) and relative numbers of flights (right) included in this analysis as compared to the potentially exempted quantity of emissions and flights by the “de minimis” clause.

Variété des systèmes de mobilité urbaine face aux enjeux de développement et d'environnement.

Xavier Godard,
Inrets, Dest, France
godard@inrets.fr

Abstract

Urban mobility systems are much diversified inside developing countries taking in account their components in terms of transport modes and their development path linked to the urban growth. As it is suggested by the African experience (from north to south) these systems tend to be characterized also by some common features : very important role of walking, especially for the poorest which are numerous; attractiveness of individual modes of transport (car or motorbikes) for middle classes; the crisis of public transport supply by corporate companies and the important (sometimes dominant) role of small scale transport operators (artisanat or paratransit) often called informal which has been boosted by the imports liberalisation of second hand vehicles; institutional difficulty to build up organizing or regulating authorities for transport; increasing environmental costs the reduction of which cannot be achieved by short term actions as they are in conflict with other criteria of sustainable development, either economic or social ones. The design of adapted and sustainable solutions depends on the capacity to organize the complementarities between various modes of transport and to develop urbanisation schemes consistent with energy savings, and also national consistent policies of fuel taxation. These aims will be better achieved with the continuous implementation of research and training actions favouring a real expertise capacity in south.

Mots-clefs : *mobilité urbaine, environnement, transport artisanal, pays en développement, développement durable*

Key-words : *urban mobility, environment, paratransit, developing countries, sustainability*

1. Introduction

Les systèmes de mobilité urbaine sont très diversifiés et en mutation rapide dans les villes en développement et particulièrement dans les villes africaines qui connaissent la plus grande croissance. Ces systèmes se différencient de ceux des pays les plus développés où l'attention aux questions d'environnement apparaît la plus accentuée. Nous allons dans cette intervention esquisser les traits majeurs de ces systèmes et les questionnements qu'ils entraînent, en nous attachant d'abord au niveau de mobilité, et au rôle assuré par les principaux modes de transport : modes individuels avec la motorisation croissante, transports publics où le secteur artisanal occupe une place importante. Puis la dimension sociale introduira le traitement de la pauvreté à travers la question des dépenses de transport, renvoyant aux facteurs de coût parmi lesquels l'énergie occupe une place de plus en plus prépondérante, mais ce constat est très variable selon les pays.

Les exemples à l'appui des analyses seront issus essentiellement de l'expérience africaine, qui offre déjà une très bonne diversité des systèmes de mobilité, surtout si l'on intègre le Maghreb, l'Afrique sub-saharienne et l'Afrique du sud. Nous essaierons au cours de ce survol de dégager quelques liens avec les enjeux de l'environnement mais ce n'est pas l'objet premier de cette communication.

1.1. Niveaux de mobilité faibles mais parfois intenses dans les villes à deux roues

Les niveaux de mobilité exprimés en nombre de déplacements par personne par jour sont plutôt faibles dans les villes en développement dominées par les transports collectifs par comparaison avec les pays industrialisés : les exemples de Conakry et Douala (Sitrass, 2004) sont donnés dans le tableau 3. On se situe dans la majorité des cas dans la fourchette 0,8-1,2 déplacements mécanisés (on est autour de 2,7 dans les villes françaises). Mais il n'y a pas de lien unique entre mobilité et revenu comme en témoignent les villes pauvres recourant aux deux roues et atteignant des taux de mobilité importants : Ouagadougou et d'autres villes sahéliennes enregistrent des taux de plus de 2 déplacements mécanisés. Hanoi et Saïgon au Vietnam enregistrent de même des taux élevés de mobilité. Les dynamiques de mobilité sont difficiles à apprécier en l'absence de dispositif d'enquête périodique alors que la capacité d'actualisation de données vite périmées est un facteur important de maîtrise des systèmes et d'efficacité des actions. Plusieurs indices suggèrent une tendance à une hausse modérée en Afrique.

Mais des questionnements sont exprimés depuis des années sur la baisse ou la stabilisation à un niveau plutôt bas de ces indices de mobilité dans le cas des agglomérations latino-américaines comme Sao Paulo (Henry, 2008), Mexico ou Buenos Aires. Plusieurs facteurs interfèrent pour rendre compte de cette tendance dont le diagnostic est lui-même dépendant de la validité des dispositifs d'enquête :

congestion automobile, insécurité (agressions), crise économique et peut-être aussi démographie (vieillesse).

1.2. Importance de la marche à pied, faiblesse de la bicyclette

En Afrique sub-saharienne, la part de la marche dans les déplacements est considérable comme l'indiquent les quelques enquêtes systématiques réalisées : 73% à Dakar en 2000. Cette pratique de la marche correspond selon les cas à des déplacements de courte distance lorsque les équipements et services de base sont implantés dans les quartiers (et on peut alors escompter leur maintien dans un schéma de mobilité durable) mais aussi à des déplacements plus longs qui sont imposés par l'impossibilité d'accéder aux transports motorisés, pour des raisons financières le plus souvent.

Il est alors légitime de s'attendre à une croissance de la mobilité motorisée qui devrait découler de la croissance démographique, de l'étalement urbain et de la croissance économique, renforçant les consommations d'énergie, émissions de polluants locaux et émissions de gaz à effet de serre (GES), toutes choses égales par ailleurs. En fait les coûts croissants de la mobilité issus de la hausse tendancielle des coûts des carburants sont un régulateur important de ces évolutions et risquent d'accentuer les disparités sociales et les dysfonctionnements urbains qui leur sont liés.

Contrairement à la marche, la bicyclette est peu utilisée sur le continent africain (Ouagadougou fait figure d'exception) malgré ses nombreux avantages pour les trajets de courte distance. Parmi les obstacles à son usage, figurent les conditions de circulation, mais surtout l'image de pauvreté qui colle à ce mode en milieu urbain, contrairement au milieu rural. On notera avec intérêt que dans un autre continent, la Chine semble redécouvrir l'intérêt de la bicyclette, et une dynamique importante est apportée par la bicyclette électrique, dont les effets environnementaux sont préoccupants en référence à la source d'énergie (charbon) utilisée pour produire l'électricité, et à la pollution des batteries.

1.3. Temps de déplacement

Les conditions de déplacement observées dans les villes en développement sont souvent jugées mauvaises mais il conviendrait de procéder à des analyses fines car des situations contrastées peuvent être relevées ici ou là. On indique simplement dans le tableau 4 les temps de transport selon les catégories sociales à Conakry et Douala. Ces données mettent en évidence l'importance du budget temps de transport journalier (autour de 80 à 100 minutes, bien plus que les 60 minutes annoncées selon le paradigme de constance des budgets temps de transport (Zahavi, 1974) mais aussi le fait que les temps les plus longs affectent les non pauvres par opposition aux pauvres : on est obligé de se déplacer plus longtemps si l'on veut gagner davantage...

2. Développement du poids des modes motorisés individuels

Les écarts de motorisation sont considérables selon les villes comme on le sait mais la croissance de celle-ci tend à gagner la plupart des villes en développement ce qui est un phénomène connu et analysé, même si les données adaptées manquent parfois. Selon les pays cela concerne les voitures particulières mais aussi les motos.

2.1. La voiture particulière

Il semble que le modèle automobile soit attractif partout dans le monde auprès des classes moyennes, mais que son extension se heurte d'abord aux contraintes économiques : coût d'acquisition des véhicules et coût d'usage (carburant notamment), bien avant les coûts de congestion.

Au Maghreb, la forte croissance de la motorisation et de l'usage de l'automobile, conduit celle-ci à assurer une part significative et parfois majoritaire des déplacements (Tableau 1). Le même constat se fait en Afrique du sud où l'on observe une motorisation élevée et croissante touchant les classes moyennes noires issues des townships alors que les transports collectifs sont insuffisamment attractifs pour stopper cette tendance.

Cela pose de nouveaux défis environnementaux car les transports collectifs n'apparaissent guère concurrentiels auprès des usagers potentiels de la voiture. La question est celle d'un cheminement commun ou différent par rapport à l'équipement en automobiles qu'a connu le monde industrialisé. Seuls les coûts d'usage de l'automobile semblent actuellement pouvoir constituer un frein, à travers les coûts des carburants.

2.2. Les motos

Certaines villes se révèlent atypiques avec un fort taux d'usage des deux roues motorisés. Il faut en fait distinguer deux cas distincts :

- villes où les motos sont privées, pour un usage dit individuel : l'exemple emblématique en Afrique est celui de Ouagadougou dont les deux roues (motos particulières, mais aussi bicyclettes) dominent le système de mobilité. Le marché y est actuellement dopé par les motos chinoises très bon marché. En Asie le Vietnam est totalement dans ce schéma avec une part des motos de l'ordre de 60 à 70% des déplacements motorisés tant à Hanoi qu'à Ho Chi Minh Ville.
- villes où les motos sont utilisées principalement en motos-taxis, s'insérant comme composante du transport public : voir ci dessous.

2.3. Problématique des véhicules d'occasion

La question des véhicules d'occasion concerne les voitures particulières naturellement mais aussi les motos et les autobus. Toute une infrastructure portuaire a été mise en place dans les grands ports africains pour l'accueil des ces véhicules transportés par bateaux entiers d'Europe (Belgique, France) vers l'Afrique de l'ouest.

De tels courants d'importation de véhicules d'occasion concernaient aussi le Maghreb dans les années 80-90 mais ils se sont taris à l'occasion des politiques de promotion de la voiture populaire accessible à un prix abordable, importée ou montée sur place plus récemment (exemple de la Logan qui est montée à Tanger au Maroc). La tendance à la mise sur le marché de véhicules automobiles à bas coût (projets indiens de Tata et de Renault d'un véhicule à 2000 \$) devrait tôt ou tard modifier radicalement la donne des circuits d'occasion, comme on le voit d'ailleurs avec les nouvelles motos chinoises qui ont envahi le marché d'une ville comme Ouagadougou. Mais les infrastructures portuaires pourraient être partiellement reconverties pour des importations de véhicules neufs.

Des questions d'environnement découlent directement de ces pratiques d'importation de véhicules d'occasion, ce qui a incité plusieurs pays à limiter l'âge autorisé des véhicules importés. Les politiques suivies en Europe pour augmenter les normes énergétiques et environnementales des automobiles alimentent le circuit de mise à disposition des véhicules moins performants sur les marchés de l'occasion. Il est usuel de dénoncer ce phénomène (l'Afrique « poubelle » de l'Europe ?) mais la question ne devrait pas être traitée de façon simpliste car on peut trouver des avantages économiques sérieux à ce type de transfert. Le problème nous semble de toute façon tout autant dans la capacité de contrôle technique des véhicules en exploitation que dans la politique d'importation des véhicules d'occasion.

3. Un transport public aux multiples composantes

Le transport public comporte de multiples composantes alliant des entreprises structurées et un secteur artisanal très dynamique.

3.1. Importance du transport artisanal

Le transport artisanal désigne l'exploitation à une échelle individuelle de véhicules de transport public dont la propriété est atomisée, c'est-à-dire répartie entre de nombreux propriétaires. Cette exploitation peut s'intégrer dans des règles collectives plus ou moins contraignantes élaborées par des organisations professionnelles. Mais la responsabilité de l'exploitation des véhicules est confiée largement au chauffeur, qui apparaît comme l'exploitant. Les véhicules mobilisés peuvent être de différentes capacités allant des midibus (25-40 places) aux taxis

collectifs (4-6 places) et aux taxis-motos en passant par les minibus et toute une gamme de tricyles (type rickshaws : 4-8 places).

Si cette forme est officiellement absente d'un certain nombre de villes en développement, elle occupe une place importante dans d'autres agglomérations, et pas seulement en Afrique sub saharienne où elle domine largement. Ainsi à l'échelle méditerranéenne on la retrouve dans la plupart des villes (tableau 2), à l'exception de la Tunisie où elle est cantonnée aux liaisons non urbaines. En Afrique du sud le secteur dit des taxis (il s'agit de minibus) est très présent, alors que les autorités souhaitent depuis une dizaine d'années l'organiser et le réglementer davantage à travers une opération de renouvellement du parc des minibus. D'autres grandes agglomérations témoignent de la vivacité et de l'apport de cette forme de transport : Manille, Mexico, Rio de Janeiro, Téhéran... (Godard, 2005)

Cette forme artisanale qui a souvent été qualifiée de transport informel avec un certain mépris et avec l'idée qu'il fallait l'éliminer a résisté ces vingt dernières années et présente à la fois des avantages et des inconvénients qu'il n'est guère possible d'analyser ici (Godard, 2008). Elle mérite d'être canalisée pour en tirer les avantages collectifs potentiels qu'elle comporte, dans des schémas de complémentarité avec les entreprises structurées qui s'inscrivent dans des processus dynamiques (figure 3).

3.2. Cas limite des taxis-motos

L'exemple emblématique de l'importance possible des taxis-motos est Cotonou avec ses *zemidjans*, qui couvrent de l'ordre de 60% des déplacements motorisés, mais d'autres villes ont accueilli cette forme de transport en Afrique (Douala, Lomé, villes nigérianes...) et de façon bien plus limitée en Asie et en Amérique latine.

On remarquera que cette forme de transport jugée archaïque par certains, comporte des éléments de modernité et de qualité de service inégalés par les autres modes : service rapide porte à porte... Cela explique d'ailleurs son introduction avec succès dans une ville comme Paris, certes à une échelle très restreinte.

Le problème des émissions de polluants occasionnées par ces véhicules est particulièrement vif dès lors qu'il y a concentration de trafic, dans les zones centrales en particulier. Mais les actions potentielles doivent être soumises à débat car les solutions simplistes ne sont guère applicables : supprimer ces taxis-motos sous prétexte de la pollution et des accidents, comme on l'évoque parfois à Cotonou? Ce serait se heurter à un problème social et politique majeur. C'est en fait un ensemble de mesures (Godard, 2006) qu'il faut combiner : évolutions technologiques (moteur à quatre temps) ; entretien des véhicules ; contrôle de

qualité des carburants ; offre de transport collectif efficace sur les axes de forte demande...

3.3. Difficultés de positionnement des entreprises structurées

Le transport collectif est en crise à l'échelle mondiale malgré les discours incantatoires en sa faveur qui viennent d'ailleurs surtout du monde développé qui a donné tant d'importance à l'automobile. Les entreprises d'autobus peinent à trouver un statut qui leur donne la pérennité pour relever les défis de la croissance urbaine. Ballottées entre des schémas de privatisation et des schémas de service public subventionné soumis à des négociations complexes et constantes avec les autorités aux pouvoirs insuffisamment assurés, ces entreprises ont perdu de leur influence ces dernières décennies, et elles ont disparu dans la plupart des villes sub-sahariennes. De nouvelles entreprises privées sont mises en place à travers des partenariats public-privé mais le schéma n'est pas encore bien stabilisé comme le montre l'exemple de Casablanca où l'opérateur Mdina Bus est en situation financière difficile après quatre ans d'exploitation où il a repris le réseau de l'ancienne Régie Ratic. (de Miras, Godard, 2006)

Ces entreprises d'autobus sont soumises à la concurrence du transport artisanal, à la congestion, à la fuite de la clientèle solvable vers l'automobile et à un schéma rigide de gestion qui les rend vulnérables face aux évolutions rapides de leur environnement. En fait le dilemme des transports collectifs est de savoir s'ils donnent la priorité aux usagers potentiels de l'automobile, solvables et exigeants en qualité de service ou aux pauvres, peu solvables (figure 2). Les investissements de transport de masse sont souvent considérés comme une solution nécessaire pour répondre aux besoins sur les grands axes et pour restructurer l'ensemble du secteur mais ils se heurtent à de fortes contraintes de coût et de financement qui en ralentissent la réalisation quoi qu'on pense de leur opportunité (nombreuses polémiques à ce sujet depuis toujours...). C'est pourquoi la solution des sites propres pour autobus est maintenant considérée avec intérêt dans de nombreuses régions du monde.

3.4. Regain d'intérêt pour les investissements de transport de masse, polarisation nouvelle sur les BRT

Après le succès du BRT (Bus Rapid Transit, qui est un site propre (presque) intégral d'autobus) de Bogota mis en service en 2001, de nombreux projets ont vu le jour dans le monde, développé ou en développement. L'argument majeur en faveur de ce type d'investissement de transport de masse est son coût d'investissement relativement faible par comparaison avec les solutions tramway, métro ou RER, alors que sa capacité peut atteindre de l'ordre de 30 000 à 40 000 passagers par heure et par sens. Du point de vue environnemental des facteurs favorables ressortent mais le bilan demeure très dépendant du type d'énergie

utilisé. En fait de nombreux paramètres sont à combiner dans chaque cas de sorte que les données de performances sont à prendre avec précaution.

Après l'Amérique latine et plusieurs pays asiatiques, le continent africain s'est lancé dans l'aventure des BRT, la question étant de savoir quelle sera la première ville africaine à le mettre en exploitation : Dar es Salam (Tanzanie) s'est mobilisée depuis plusieurs années sur ce projet, mais d'autres villes ont de tels projets : les grandes métropoles d'Afrique du sud (Cape Town, Johannesburg, Tshwane...) souhaitent réaliser leurs projets de BRT pour qu'ils soient opérationnels lors de la Coupe du Monde de football en 2010. Addis Abeba a un projet (aidé par la coopération décentralisée avec Lyon) qui semble se heurter à des difficultés de financement. Dakar et Accra sont engagées dans des études de faisabilité mais le temps est long pour faire mûrir ce type de projet, pourtant susceptible de redonner une image forte au transport collectif de masse. Au Maghreb la solution BRT commence à être envisagée pour Casablanca en complément à des projets de tramway et de métro, et Marrakech envisagerait aussi cette solution.

La mise en place de BRT est une occasion permettant de restructurer l'ensemble du secteur mais les deux difficultés majeures dans le contexte africain sont la faiblesse institutionnelle (qui peut porter le développement d'un tel projet ?) et les modalités d'association des transporteurs artisanaux, dont on sait qu'ils sont très présents : c'est par exemple l'une des questions difficiles qui conditionnera le succès des BRT sud-africains.

3.5. Le chantier des autorités organisatrices

Face à la multiplicité des instances publiques intervenant dans le secteur du transport urbain, le besoin d'une autorité unique de transport a été décelé depuis de nombreuses années dans les villes en développement, en particulier en Afrique où les obstacles institutionnels et politiques sont nombreux : décentralisation non aboutie, faiblesse des moyens des collectivités locales.

En Afrique sub saharienne, les expériences de Dakar (Cetud créé en 1997) et de Abidjan (Agetu créée en 2000) sont les plus riches, indiquant le chemin à suivre dans un processus de légitimation qui n'est pas encore abouti. Le Cetud n'est pas vraiment une Autorité et doit constamment faire la preuve de sa compétence, dans des dossiers où il doit composer ou s'effacer devant d'autres pouvoirs, en particulier celui du Président du Sénégal. L'Agetu a le pouvoir de délivrer les licences aux transporteurs mais sa légitimité n'est pas encore réellement admise par les collectivités locales qui y voient une perte de leur pouvoir et de leurs recettes.

En Afrique du sud, la question d'une autorité des transports est également posée dans les villes et se heurte à des difficultés d'articulation entre les différents échelons territoriaux (communes et régions) comme en témoignent les cas de

Tshwane et de Johannesburg par rapport à la Province du Gauteng qui se réfère à la notion de Région urbaine pour justifier son intervention.

Au Maghreb, la réforme est évoquée dans chacun des pays depuis des années. Elle est en cours d'examen en Algérie, elle a donné lieu à une amorce en Tunisie en 2004 (Autorités établies au niveau de chaque gouvernorat) mais c'est plutôt une coquille vide, le contexte de décentralisation n'étant pas suffisamment avancé. C'est sans doute au Maroc que les projets sont les plus avancés.

4. Poids des dépenses de transport

Le poids des dépenses de transport dans le budget des ménages est souvent apprécié à travers les enquêtes de budget consommation. Dans de nombreux pays ou villes ce poids apparaît faible ce qui peut inciter les macroéconomistes à accorder peu d'importance à ce secteur. Outre les biais méthodologiques (voir notamment Diaz Olvera, 2008) de ces enquêtes tournées d'abord vers les dépenses de nourriture et de logement et tendant à sous estimer les dépenses de transport, les travaux sur la mobilité révèlent dans plusieurs villes africaines des taux bien plus importants chez les groupes pauvres, donnant une autre image des enjeux : dans le tableau 5 on observe des taux de l'ordre de 20% à Conakry. Dans les cas extrêmes révélés par certains entretiens, les dépenses de transport peuvent d'ailleurs dépasser le revenu tiré d'un emploi.

Un indicateur éclairant est celui de la capacité à payer le tarif des transports collectifs (affordability) pour un actif disposant du revenu minimum : il permet de voir que la situation est insupportable dans la plupart des villes, ce qui explique soit la difficulté d'accès à l'emploi soit le recours massif à la marche à pied, qui ne coûte rien.

Les politiques de lutte contre la pauvreté s'adressent habituellement aux besoins essentiels et services de base (santé, éducation, nutrition...) et le secteur du transport a du mal à s'intégrer à ces programmes (Godard 2002b), alors qu'il est souvent un moyen essentiel pour accéder à tous ces biens et services. La mobilité nous semble une condition nécessaire à la sortie de pauvreté, d'où l'importance de la question des tarifs et des coûts de transport.

5. Le coût de l'énergie

Les facteurs de coûts d'usage des modes individuels et de coûts de production des transports publics sont liés au prix des véhicules, dont la tendance est à la baisse, et au coût de l'énergie dont la tendance est à la hausse, à côté des facteurs classiques d'efficacité, liés notamment à la congestion des réseaux de voirie. Les coûts des carburants représentaient ainsi de l'ordre de 35 à 40% des coûts directs d'exploitation des transports artisanaux en 2000-2001 (Godard 2002a) en Afrique de l'ouest.

La hausse tendancielle des coûts du pétrole est une nouvelle donne de ces dernières années, mais avec des situations très contrastées des prix à la pompe entre les pays, selon qu'ils taxent ou subventionnent les carburants, comme l'indique la figure 1. Les politiques des pays sont elles-mêmes dépendantes de la manière dont la rente pétrolière est gérée dans le cas des pays producteurs, mais aussi de la politique de raffinage.

On sait que le prix des carburants est souvent considéré dans les pays développés comme une variable clef pour faire évoluer les comportements vers des systèmes de transport plus durables, mais que l'opinion publique suit moins ce raisonnement. La sensibilité de l'opinion est encore plus forte dans le monde en développement, comme l'indiquent de nombreux exemples où les ajustements de prix des carburants occasionnent des grèves des transporteurs et des émeutes, ce qui est l'une des craintes des responsables avant toute décision. Un exemple récent est celui du Cameroun où les chauffeurs de taxis de Douala ont protesté contre la hausse des carburants (pourtant minime) en février 2008, amorçant les émeutes de la faim qui se sont reproduites dans diverses régions du monde pour protester contre la hausse des prix des denrées de base.

Les écarts de prix entre pays tendent par ailleurs à générer des pratiques de contrebande, qui indiquent les limites politiques purement nationales en termes de taxation de l'énergie. Dans l'exemple Nigeria/Benin, le carburant pas cher en provenance du Nigeria a été l'un des facteurs du développement des taxis-motos. Toute une activité de transport et distribution de ce carburant s'est ainsi développée quasiment officiellement.

La dimension énergétique est donc essentielle dans toute politique de transport mais on a l'impression que les connexions se font mal et que les messages sont brouillés tant d'objectifs différents peuvent être projetés sur les mesures touchant les prix des carburants : recettes fiscales pour le budget général de l'Etat, sources de financement dédiées à l'entretien des routes ou à la promotion des transports collectifs, incitation à la limitation des dépenses d'énergie et des émissions de GES, outil de régulation de la hausse du trafic routier... ou au contraire subvention des activités économiques et préoccupations sociales de minimisation des prix des denrées alimentaires dépendant du transport.

5.1. Consommations d'énergie et émissions de GES selon le modèle de mobilité

Les émissions de GES et leur réduction supposée deviennent un critère que l'on est de plus en plus invité à considérer lors de l'examen de projets. Les méthodes d'estimation sont encore fragiles et surtout elles dépendent de la qualité des données sur les déplacements et sur les parcs de véhicules. Les enjeux potentiels d'émissions de CO₂ sont très variables selon les systèmes de mobilité, mais ils

peuvent s'avérer importants dans les villes en développement, atteignant un niveau élevé de motorisation.

Les politiques de maîtrise de l'énergie consommée dans les transports passent à la fois par le système de transport lui-même mais aussi par les formes urbaines qui influent sur les distances de déplacements comme le montrent de nombreux travaux (voir Giraud, Lefèvre, 2006).

Dans le cas de Tshwane (ancienne Pretoria en Afrique du sud) on a pu estimer¹ les émissions annuelles de CO₂ autour de 2,8 MT. Ce niveau élevé d'émissions (rapporté à la population, cela fait de l'ordre de 1,2 T CO₂ par an par habitant) est dû à la fois à la répartition modale (55% des déplacements motorisés en voiture) aux distances de déplacements (de l'ordre de 15 à 20 km en moyenne), au poids des minibus au sein des transports collectifs (32% des déplacements motorisés) et enfin au recours partiel (40% environ en Afrique du sud) à de l'essence fabriquée à partir du charbon (les émissions de CO₂ doublent quasiment dans ce cas). Les réductions d'émissions annuelles qui seraient induites par une politique forte et réussie de redynamisation des transports collectifs et densification urbaine sur les corridors desservis pourraient atteindre 1,3 MT en 2020.

A contrario des estimations menées dans d'autres villes africaines (Godard, 2002a) indiquaient des ordres de grandeur bien plus faibles des émissions actuelles (0,4 MT annuel Dakar en 2000, 0,9 MT à Abidjan en 1998) car les taux de mobilité motorisée y sont plus réduits, l'usage de la voiture est plus limité et les structures urbaines n'imposent pas les distances de déplacement des agglomérations sud-africaines issues de l'Apartheid (mais la métropolisation peut conduire à des schémas analogues si elle n'est pas maîtrisée).

6. Conclusion

La variété des systèmes de mobilité urbaine ressort de ce survol sans que nous ayons voulu insister sur cet aspect. Face à cette variété c'est bien la recherche de solutions adaptées et de trajectoires spécifiques pour conduire l'évolution des systèmes qu'il faut recommander.

Il importe de raisonner sur des systèmes multimodaux et non sur chacun des modes de transport. Trop souvent les débats et polémiques portent sur les avantages ou inconvénients de tel ou tel mode sans raisonner sur les complémentarités modales. C'est en particulier le cas entre artisanat et entreprises structurées comme en témoigne l'expérience de Dakar (Godard, 2007).

Mais des priorités doivent bien être dégagées et la question est constamment d'éclairer les arbitrages entre les objectifs du développement durable dont certaines modalités s'avèrent contradictoires. Les trois composantes classiques

¹ Expertise non publiée

(économique et financière, environnementale, sociale) entrent partiellement en conflit (emploi et efficacité économique, environnement et coût des transports) ce qui ne peut être résolu que par des visions de moyen et long terme, et donc une stratégie qui s'inscrit dans le temps et une continuité d'action.

Le préalable à la définition et la mise en œuvre de politiques de mobilité durable est alors de renforcer les réseaux d'expertise, associant recherche et formation professionnelle, avec des espaces de débat contradictoire pour éviter les importations de schémas tout faits du Nord, mais tenant compte des connaissances accumulées à la fois au Nord et au Sud.

Références

- 1- Codatu, Banque mondiale (2008), Guide de recommandations sur les déplacements urbains en Méditerranée
- 2- Diaz Olvera L, Plat D, Pochet P (2008) Household transport expenditure in sub saharan African cities: measurement and analysis, Journal of transport geography, Elsevier
- 3- Giraud PN, Lefèvre B (2006), Les défis énergétiques de la croissance urbaine au sud, le couple transport-urbanisme au cœur des dynamiques urbaines, article Cerna pour Rapport Annuel de l'Afd-Iddri : « Regards sur la Terre », Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques.
- 4- Godard X (ss direction), (2002a) « *Les transports et la ville en Afrique au sud du Sahara, Le temps de la débrouille et du désordre inventif* », Karthala-Inrets, , 416 p.
- 5- Godard X, Fatonzoum I, (2002b) *Urban mobility for all*, Proceedings of CODATU X conference in Lomé, November, Balkema ed, 618p.
- 6- Godard X, (2005) Kyoto et la double trappe dans laquelle tombe le transport collectif institutionnel, RTS 88, pp 225-242, ed Lavoisier
- 7- Godard X (2006), Les transports urbains et l'environnement dans les villes du sud, chap 8, in Dorier Apprill E., *Ville et environnement*, Sedes ed, Paris, pp 169-196
- 8- Godard X (2007), Urban transport reform in Dakar, lessons from 15 years experience, The search of complementarity between bus and minibus operators, WCTR conference, Berkeley, June
- 9- Godard X (ed) (2008), Compte-rendu d'Atelier sur le transport artisanal dans les villes méditerranéennes, Aix en Provence Juin 2007, Actes Inrets N°, 190 p, Lavoisier ed
- 10- Henry E (2008) Coup de frein à la mobilité dans Saint Paul l'impétueuse, Journée Inrets 9 avril 2008 Mégapoles, transports et mobilités, confrontations, www.megapole.org
- 11- de Miras C, Godard X (2006) Les firmes concessionnaires de service public au Maroc. Eau potable, assainissement et transports collectifs, Méditerranée N°1.2
- 12- Sitrass (2004), Pauvreté et mobilité urbaine à Conakry, Rapport final pour Banque mondiale, Inrets-Let, Lyon
- 13- Sitrass (2004), Pauvreté et mobilité urbaine à Douala, Rapport final pour Banque mondiale, Inrets-Let, Lyon
- 14- Zahavi J (1974), Travel time budgets and mobility in urban areas, Report for the US DoT, Washington DC

Tableau 1 : Répartition modale dans la Région MENA (Moyen Orient Afrique du Nord)
d'après Codatu Banque mondiale (2008)

Ville	Alger 2004	Beyrouth 1994	Le Caire 1998	Casablanca 2004	Istanbul 2005	Tunis 2002	Téhéran 2004
% TC*	65%	29%	74%	50%	58%	40%	58,5%
% VP	29%	71%	26%	30%	36%	50%	34,5%
% taxis	5%	-	-	11%	6%	10%	-
% 2 Roues	1%	-	-	9%	-	-	7%
Total individuel	35%	71%	26%	50%	42% %	60%	41,5%
Total	100	100	100	100	100	100	100

Tableau 2 : Part des transports artisanaux dans les déplacements motorisés, d'après
Codatu, Banque mondiale (2008)

	Alger 2004	Le Caire 2001	Casablanca 2004	Damas 1998	Téhéran 2004
Taxis collectifs	3%	-	21,5%	-	16,5%
Minibus	53%	25%		46%	18%
Total	56%	25%	21,5%	46%	34,5%

Tableau 3 : Taux de mobilité à Conakry et Douala, d'après Sitrass (2004)

Ville	Conakry		Douala	
	Pauvre	Non pauvre	Pauvre	Non pauvre
Taux de mobilité	3.8	3.9	4.4	4.8
Hommes	4.1	4.2	4,7	4,8
Femmes	3.5	3.6	4.0	4.3
% marche à pied	78%	61%	77%	52%
% marche + 30 minutes	11%	9%	13%	4%
Taux de mobilité mécanisée	0.8	1.2	1.0	1.9
Hommes	1	1.4	1,2	2.1
Femmes	0.7	1	0.8	1.5

Tableau 4 : Budget temps de transport à Conakry et Douala, 2003 d'après Sitrass (2004)

Ville	Niveau de ressources	Temps de trajet (minutes)		Budget temps transport (minutes)		
		Marche à pied	mécanisé	Marche à pied	mécanisé	total
Conakry	Non pauvre	18	40	42	61	103
	Pauvre	15	44	44	36	80
Douala	Non pauvre	11	33	28	77	105
	Pauvre	14	37	46	37	84

Tableau 5 : Poids des dépenses de transport dans le budget des ménages pauvres à Conakry, 2003, d'après Sitrass 2004

Quartier d'habitat	Revenu annuel (Millions Fcfa)	Dépense annuelle de transport (milliers Fcfa)	Part du transport public (%)
Centre	1,919	304	15.9%
Zones accessibles	1,801	307	17.0%
Zones enclavées	1,535	315	20.5%

Prix moyens observés en novembre 2006, établis en cents de \$/litre.
Source : GTZ

Iran	9
Libye	13
Egypte	30
Yémen	30
Algérie	32
<i>Cours mondial</i>	38 (soit 60,2 \$ le baril)
<i>Prix de vente HT</i>	53 (estimation)
Syrie	60
Liban	74
Tunisie	83
Jordanie	86
Espagne	115
Grèce	116
Maroc	122
Palestine Gaza	129
France	148
Italie	156
Turquie	188

Figure 1 : Prix de l'essence dans la Région MENA, tiré de Codatu, Banque mondiale, (2008)

Note : le prix de vente de référence comprend les frais de raffinage et de distribution du carburant.

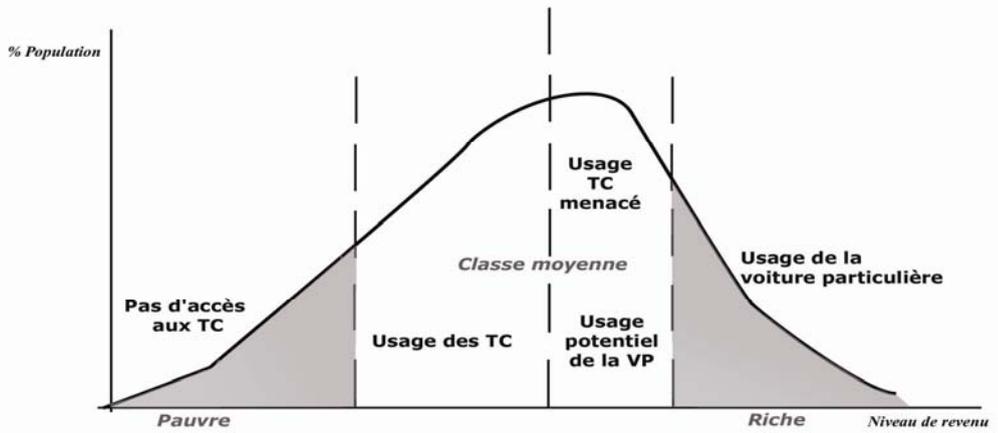
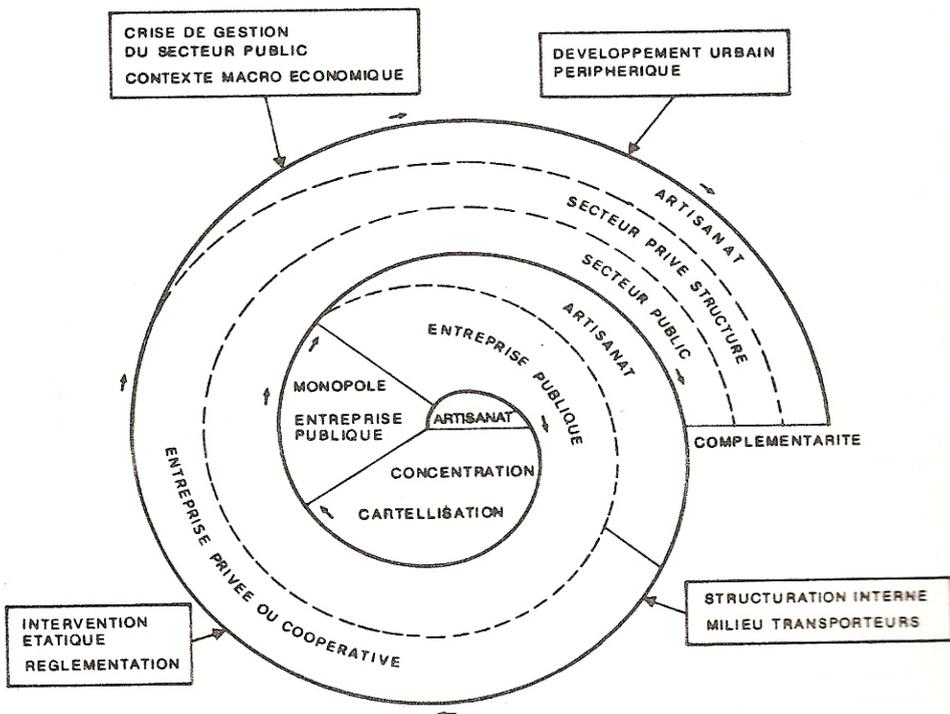


Figure 2 : Schéma d'usage des modes selon le revenu, source Mitric in Godard (2008)



SCHEMA EN SPIRALE DE L'HISTOIRE DES SYSTEMES DE TRANSPORT COLLECTIF

Figure 3 : Une vision dynamique du système de transport public, d'après Godard 1987 in Godard (2008)

Evaluation de l'intermodalité du transport régional et son impact sur l'environnement à l'est d'Alger

Mohamed Lazhar Benaïssa, Ménouër Boughedaoui², Robert Joumard³

1 - Institut Supérieur de Formation Ferroviaire, Route Nationale n°5, Rouiba, Alger, Algérie

2 - Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université de Blida, Route de Soumaa, Blida, Algérie

3 - Laboratoire Transport Environnement, INRETS, Av. François Mitterrand, Bron, France

Résumé

La ville de Bouira est implantée sur un axe routier névralgique très congestionné reliant la capitale Alger aux régions de l'est du pays. Le projet de construction de l'axe autoroutier, reliant l'est à l'ouest du pays, qui passe par cette ville, est prévu d'absorber une partie du volume des échanges qui, à l'instar de ce qui se passe dans l'ensemble du pays, se fait à plus de 85% par mode routier. L'objectif ici est de révéler la cohérence des réponses de la filière transport aux enjeux de développement durable sur la liaison Bouira-Alger, par l'analyse des coûts de l'offre de transport routier par voie autoroutière comparée à un autre scénario alternatif : le transport régional par rail. L'analyse de l'évolution du flux de trafic vers cette ville située dans la région Est d'Alger montre l'accroissement générée par la construction de l'autoroute en raison de l'amélioration de l'accessibilité des populations locales aux pôles d'emplois et de services de l'agglomération algéroise. En intégrant les coûts socio-économiques de transport et l'impact sur l'environnement, on devrait pouvoir comparer le transport routier et le transport ferroviaire régional. La ligne ferroviaire existe à proximité de l'axe autoroutier et la gare routière à proximité de la gare ferroviaire. En considérant l'usage d'un mode alternatif de transport comme le rail, on montre son importance économique, sociale, énergétique et sécuritaire et environnementale. L'étude est fondée sur des données d'enquêtes de terrain dans la région de Bouira. Des illustrations sont révélées selon l'évolution de scénarii possibles (choix technologiques, prise en compte de l'environnement et de la sécurité, avantage économique et social).

Mots-clés : transports, compétitivité, Approche coûts-bénéfices, réaménagement, investissements, trafic régional, scénarii environnement.

1. Introduction

Le transport terrestre est un secteur important dans l'économie algérienne. Il est dominé par la route qui détient plus de 85% des parts de marché.

Durant les deux dernières décennies, une forte croissance annuelle du trafic a entraîné la saturation de certains axes routiers principaux de la frange Nord du pays, notamment la RN5 reliant Alger à Constantine et passant par la ville de Bouira. Cette dernière ville s'impose, de part sa position de carrefour d'échange et de passage obligatoire vers les grands pôles d'Alger, Boumerdes et Tizi-ouzou au nord, ceux de Sétif, Constantine et Bejaia à l'est et M'Sila et Blida au sud. Les difficultés de communication entre les pôles d'activités risquant donc de s'aggraver et d'entraîner des pertes économiques importantes aussi bien pour l'usager que pour la collectivité, l'Etat algérien a envisagé d'augmenter la capacité des infrastructures de transport routier.

Cependant, la mise en œuvre de tels projets fait souvent appel à des ressources financières, humaines et d'espaces limitées. Face aux différents modes de transports terrestres, le développement d'une stratégie visant à privilégier l'usage efficient des différents modes de transport est un préalable pour une meilleure prise de décision. Cette stratégie doit être fondée sur une vision large et concertée qui favorise l'émergence d'outils d'investigation cherchant à rendre les systèmes de transport économiquement et socialement plus efficaces, sûrs, économes en énergie, moins polluant et préservant l'environnement. Une telle action est pertinente considérant le rapport de la Banque Mondiale qui estime que le système national d'investissement public a besoin d'être modernisé, notamment en ce qui concerne :

- le besoin de s'éloigner d'une approche "projet par projet" pour aborder l'approche multimodale intégrée avec des horizons temporelles importants et où les projets sont coordonnés sur la base d'une stratégie sectorielle globale,
- la gestion des priorités et l'usage des standards techniques,
- la rationalisation des dépenses publiques.

L'objectif de ce travail est d'étudier la cohérence des réponses de la filière transport aux enjeux de développement durable sur la liaison Bouira-Alger, par l'analyse des coûts de l'offre de transport routier par voie autoroutière comparée à un autre scénario alternatif du transport régional par rail. Pour ce faire, deux étapes sont identifiées : la première consiste à déterminer l'état des lieux des flux de transport traversant la ville de Bouira. La seconde consiste à évaluer les impacts de ces flux de transport afin de proposer un système de transport intégrant différents modes de transport existants dont le ferroviaire.

L'étude du projet s'articulant autour du mode ferroviaire permettra de montrer dans quel cas l'ouvrage peut accueillir un trafic significatif et contribuer à la fluidification du flux sur la liaison Alger-Bouira. Théoriquement, il s'agit de basculer d'une méthode où l'investissement est considéré comme une décision de planification centrale vers une technique qui s'inscrit dans le contexte d'une approche globale et intégrée et de développement durable.

2. Méthodologique de l'étude

L'implantation d'une autoroute reliant la ville de Bouira à celle d'Alger serait-elle la solution fonctionnelle la plus efficiente, en ce qui concerne le service rendu ? Pourquoi n'entreprendrait-on pas l'optimisation de l'exploitation d'infrastructures existantes sur la même liaison telle que la ligne de chemin de fer ? Pour répondre à ces questions et assurer à l'Etat le recours au mode optimal en termes d'efficacité économique, sociale et environnementale, il est nécessaire d'opérer en se basant sur des critères de choix. Dans le domaine des transports, divers critères peuvent être usités dont :

- **Les critères d'offre de service** : ces critères sont souvent liés aux caractéristiques techniques, environnementaux, énergie et sécurité, fluidité de trafic.
- **Les critères de cohérence** : pour assurer l'insertion des nouveaux projets dans des schémas existants ;
- **Les critères de rentabilité** : les projets doivent être analysés d'une part, selon sa rentabilité économique et financière (nécessité, efficacité, faisabilité) et, d'autre part, selon la rentabilité socio-économique (accessibilité, aménagement du territoire et valorisation de l'espace).

Tous ces critères sont importants mais ceux de rentabilité, en particulier, constituent des outils d'aide à la décision qui facilitent l'évaluation des dépenses publiques en comparant les bénéfices que l'on pense retirer d'un projet aux coûts qu'il faudra supporter pour les obtenir. Cependant, ils doivent être suffisamment enrichis pour intégrer aussi bien des flux financier que des éléments liés au bien-être engendré pour la collectivité (tels que le gain de temps dans les durées de parcours et la réduction des coûts d'exploitation, de la congestion, des accidents, de la pollution atmosphérique, du bruit, ...). Les avantages sont alors convertis en valeur monétaire. Le décideur se donne ainsi les moyens d'évaluer au-delà de sa capacité à mobiliser les fonds publics.

Toutefois, le recours à une batterie d'indicateurs, leur pondération et hiérarchisation ne peuvent résulter que d'une procédure d'arbitrage cohérente entre les différents modes de transport de voyageurs et de marchandises. C'est cela même qui conforte la thèse de ceux qui trouvent l'emploi de ces méthodes incompatible avec les formes de valorisation, notamment pour la question des

biens non renouvelables. En dépit de la controverse quant à leur application, il n'en demeure pas moins qu'elles semblent, à ce jour incontournables, voire indispensables pour concilier les points de vue et apprécier l'impact des décisions actuelles sur le bien-être des générations futures. Parmi ces critères de rentabilité il y a :

- le **bénéfice actualisé par dinar investi** : C'est le ratio du bénéfice actualisé par le coût actualisé du projet. Il permet de prendre en compte la contrainte de financement connue ou non, inhérente à tous les projets. Cet indicateur est utile pour comparer les projets alternatifs ou des variantes (de tracé ou de phasage) dont le coût d'investissement est significativement différent, ou pour établir des priorités de programmation d'opérations indépendantes (cas des opérations des contrats de plan, par exemple).
- le **taux de rentabilité interne** (TRI) : C'est le taux d'actualisation qui annule le bénéfice actualisé. Il permet d'apprécier l'utilité du projet sans référence à un taux d'actualisation et de comparer ses avantages relatifs, immédiats ou futurs.
- le **taux de rentabilité immédiat** : C'est le quotient de l'avantage économique à l'année de mise en service, par le coût actualisé de l'investissement. Cet indicateur sert à déterminer la date optimale de mise en service.

Le bénéfice actualisé (ou VAN) : C'est la différence entre les avantages et les coûts de toutes natures, eux-mêmes actualisés, induits par l'opération. Les coûts et les avantages actualisés sont calculés par rapport à une situation de référence. Si le Bilan net actualisé est positif, le projet est préférable à la solution de référence; il est donc rentable. L'écriture mathématique peut être :

$$VAN_t^{Publique} = -CI_0 + \sum_{t=1}^n \frac{(\sum_{k=1}^{k=m} P_k A_k^t - \sum_{k=1}^{k=m} P_k C_k^t)}{(1+a)^t} + \frac{VF}{(1+a)^n}$$

où : a est le taux d'actualisation public reconnu pour les pays émergents,

p_k est la valeur monétaire unitaire attachée à l'impact k ($k=1, \dots, m$),

A_k et C_k sont le niveau des impacts respectivement positif ou négatifs,

VF est la valeur finale ou résiduelle de l'équipement,

t est la période d'occurrence des impacts.

L'usage de ces techniques requiert la traduction préalable des coûts et avantages en termes financiers. Des distorsions peuvent alors apparaître notamment lorsque

les prix ne résultent pas des règles de l'offre et de la demande. Ces coûts et avantages sont alors estimés sur la base d'un système de prix de référence qui nécessitent pour y parvenir des analyses très approfondies. Pour le cas de l'Algérie, cela n'est pas vraiment nécessaire car les écarts sont relativement faibles en raison de la libéralisation économique.

Dans le cas de cette application, il sera utilisé la méthode de calcul du bénéfice actualisé et du TRI au moyen d'un tableur.

3. Cadre de l'étude

3.1. Description de la situation de référence

La ville de Bouira, implantée dans une région à relief accidenté, est réputée par sa vocation agricole et son artisanat (poterie, habillement traditionnel, bijoux). En 2006, la production de la wilaya a atteint 100.000 tonnes de céréales, 106.000 tonnes de produits fourragers et maraîchers et 20.000 tonnes de produits fruitiers. Elle abrite plus de 92 000 habitants (soit une densité de 973 habitants au km²) et son taux de motorisation, d'environ 76 voitures particulières pour 1000 habitants, est légèrement supérieur à la moyenne nationale.

Le flux d'échange quotidien de la ville est principalement destiné vers la région nord qui constitue un véritable bassin d'emploi et de services (administrations, terminaux internationaux de transport, universités, marchés de fruits et légumes, ...). Il concerne plusieurs milliers de personnes qui utilisent principalement des moyens de transport publics constitués de Poids Lourds et de taxis collectifs.

Tableau 1 : Trafic en transport collectif (année 2007)

Région	UVP	Voyageurs (en Millions)	En %
Alger	65	32,4	60,7%
Boumerdes	52	9,6	18,0%
Tizi Ouzou	72	11,4	21,3%
TOTAL	258	53,4	100,00%

Sur la relation routière Bouira-Alger, les flux ramenés aux Taux Journalier Moyen Annuel (TJMA) se présentent comme suit :

- Tronçon Bouira - Thenia : 20.000 véhicules/jour dont 30% sont des poids lourds qui représentent une gêne permanente à la circulation (comptage de l'année 2002) et
- Tronçon Thenia – Alger : 38.300 véhicules/jour dont 30% sont des poids lourds.

Pour une offre en infrastructure routière caractérisée par une largeur variant de 7 à plus de 14 mètres¹, la relation Bouira-Alger reçoit ainsi plus de 4 000 véhicules par heure sur plus de 5 heures. Ce nombre très élevé de véhicules fait d'elle l'une des liaisons les plus saturées en Algérie. Souvent, les flux ci-dessus indiqués viennent se greffer à ceux de la capitale pour engendrer un nouveau flux pouvant aller de 70.000 jusqu'à 100.000 véhicules sur de nombreuses liaisons périphériques algéroises telles que les échangeurs de Bir Mourad Rais, Dar el Beida, Oued Ouchaïeh, la rocade sud ou la pénétrante des Anassers. Ces flux sont d'ailleurs en constante progression, ce qui augure à de très fortes congestions à l'avenir.

Pour la ville de Bouira, les mouvements routiers sont réalisés à partir de la « gare routière » dont les comptages qui y ont été effectués indiquent que les capacités sont largement dépassées. En effet, avec une moyenne de 1000 mouvements quotidiens vers diverses destinations et 2 mouvements par minute à l'heure de pointe du matin, ce terminal n'est plus en mesure de répondre au besoin des clients.

Il convient enfin de noter qu'en 2006, 789 accidents ont été dénombrés sur la RN5 dont 62% ont été recensés sur le seul tronçon de la relation Bouira-Alger qui appartient à la wilaya de Bouira.

En dépit d'une telle situation négative du trafic routier sur la relation Bouira-Alger, la participation du mode ferroviaire demeure quasi-inexistante, voire en constant recul, en raison de l'absence d'exploitation de ligne régionale et des médiocres performances des trains en transit.

Tableau 2 : Voyageurs en transport ferroviaire

Année	Voyageurs	En %
2004	9762	
2005	7160	-36%
2006	3675	-95%

Des projets de construction et/ou d'élargissement des voies routières sont prévus dans la région. Pour la wilaya de Bouira, une croissance du réseau d'autoroutes est en construction. Le détail se présente comme suit :

- Tronçon El Hamiz - Lakhdaria (41 km), d'un montant de 116 milliards de DA,
- Tronçon Limite est de Bouira-Zennouna (34 km) : d'un montant de 40 milliards de DA,

¹ ce qui donne une capacité maximale allant de 1 800 à 3 600 véhicules par heure,

Il s'agit d'un maillon de l'itinéraire autoroutier long de 1216 km et reliant l'est à l'ouest du pays. Les montants des investissements sont importants en raison des contraintes à lever, notamment celles liées au relief traversé caractérisé par une sinuosité prononcée et une forte déclivité².

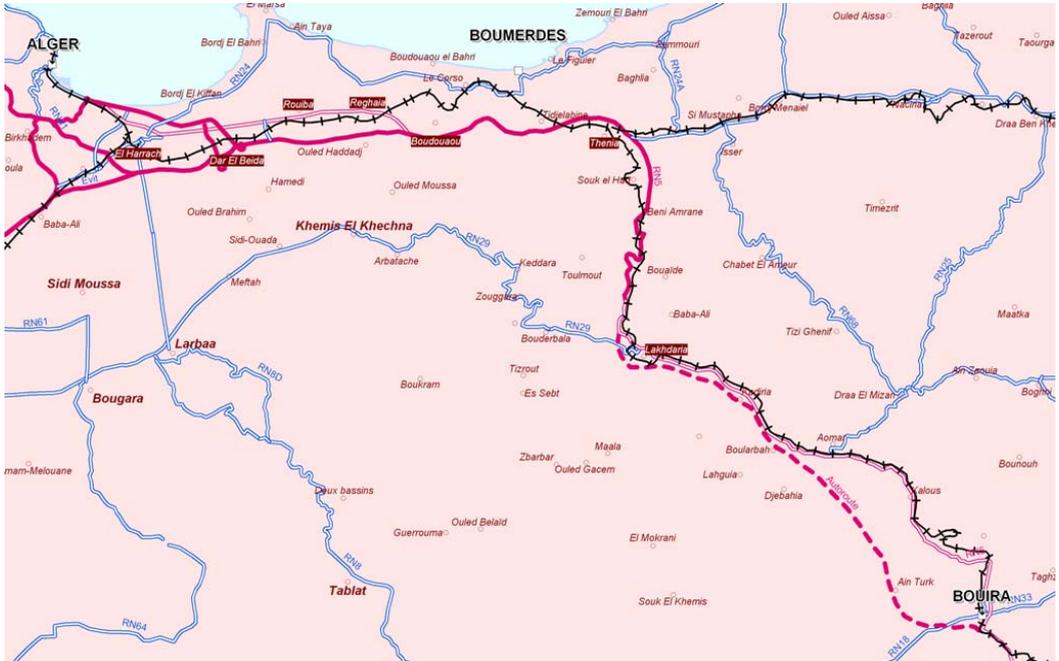


Figure 1 : Les principales infrastructures routières et ferroviaires reliant Alger et Bouira

Si ces conditions de développement sont maintenues, la situation du trafic au sein de la wilaya de Bouira évoluerait comme l'illustre le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Prévisions de trafic en situation de référence

	Route (en Millions voy-km)	Fer (en Millions voy-km)
2010	1 973,2	0,5
2015	2 099,7	0,5
2020	2 234,2	0,5

Il est constaté alors que le transport ferroviaire, très faible actuellement, deviendrait insignifiant dans les années à venir.

² Des ouvrages d'art sont prévus le long du tracé

En revanche, si au moyen d'une politique volontariste, un projet ferroviaire consistant à étendre la modernisation de la ligne Alger -Thenia jusqu'à la ville de Bouira est envisagée, il naîtra une exploitation à vocation régionale qui pourrait être très bénéfique pour les usagers. En effet, il existe un projet de modernisation du réseau de banlieue qui atteint la ville de Thénia en suivant :

- La ligne Alger – El Harrach (10,3 km) sur trois voies électrifiée ;
- La ligne El Harrach – Thenia (43 km) sur deux voies électrifiées.

Si socialement des avantages peuvent être aisément identifiées, la question qui demeure sans réponse : serait-il opportun, économiquement parlant, de moderniser la ligne Thenia-Bouira actuellement, à voie unique et étendre le trafic de banlieue un peu plus au sud ?

3.2. Description du projet

L'objectif ici consiste à dédoubler et électrifier le tronçon ferroviaire Thénia-Bouira en vue d'une exploitation moderne de la ligne Alger – Bouira en l'insérant dans son contexte d'infrastructure locale, régionale et nationale.

Pour intégrer le chemin de fer dans le système de transport, des potentialités sont offertes par la ligne concernant l'intermodalité, avec le prolongement sur les régions d'Ain Bessam et Sour el Ghozlane au sud et la desserte de la zone industrielle locale. Ils nécessitent toutefois de réaliser non loin des gares, des arrêts de bus, de taxis ainsi que des parkings permettant l'accès des véhicules particuliers.

Le programme ainsi défini présente des impacts positifs pour la population de la région qui sont principalement :

- la réduction du temps de déplacement pour les populations ;
- les économies en coûts d'exploitation des transports publics routiers ;
- la réduction des nuisances environnementales,
- les économies d'accidents routiers.

3.3. Hypothèses de base

Les trafics résultent de l'hypothèse de croissance retenue et couvrent l'ensemble de la période qui peut être considérée, soit 20 ans. Cette hypothèse suppose une croissance moyenne stable de la mobilité de l'ordre de 1,5% par an, dès lors qu'il n'est pas envisagé de faire d'autres investissements permettant d'augmenter les capacités de transport.

Dans le scénario avec projet ferroviaire, il est présumé que le chemin de fer récupère sa clientèle qui s'est tournée vers la route et bénéficiera d'une nouvelle clientèle qui n'aurait pas voyagé si le projet n'avait pas été mis en service (trafic

induit). Le report de tous ces voyageurs est lié aux attraits de confort, ponctualité, régularité et coût qu’offrira ce mode (voir tableau ci-dessous).

Tableau 4 : Description hypothétique des conditions de voyage en chemin de fer

Trajet	Distance	Temps de parcours	Temps avec arrêts	Vitesse commerciale
Alger – Thenia	53	41	56	57,2
Thenia-Bouira	70	60	1h15	70

Durant la période considérée, le trafic reporté vers le chemin de fer est estimé par calcul à 5,4 Millions de voyageurs dès la première année. Pour ce faire, il est prévu dans le projet que l’entreprise de chemin de fer acquiert 12 rames automotrices électriques pour les mettre en exploitation entre Thénia et Bouira, en complément de celles déjà existantes dans la région algéroise et qui peuvent être transférées sur la ligne.

3.4. Avantages et coûts économiques du projet

Les coûts correspondent aux coûts supplémentaires de la situation avec projet par rapport à la situation de référence (sans projet). Quant aux avantages dont il est question, ils sont ceux retirés par la collectivité dans la situation avec projet par rapport à la situation de référence. Ils peuvent être classés en avantages marchands et avantages non marchands.

- Avantages marchands : Le report de voyageurs de la route vers le rail dans la situation avec projet se traduira par une diminution des services assurés par les opérateurs de transport par autocar et de transport par taxis. Cela signifie que les opérateurs en question réaliseront moins de kilomètres de service par rapport à la situation de référence d’où des économies sur les CEV.
 1. Des économies en coûts d’exploitation (amortissement inclus) des autobus et taxis du fait du report du trafic bus et taxis vers le rail ;
 2. Des économies d’entretien de la voirie suite à la diminution du trafic de bus ; le transfert modal vers le rail se traduit par une diminution de l’ensemble des coûts d’utilisation de la voirie (entretien, fonctionnement, renouvellement, etc.).
- Avantages non marchands :
 1. Le gain de temps pour les usagers. Il comprend le gain de temps des anciens usagers du ferroviaire et des autocars.

2. Des gains de sécurité routière (réduction du nombre d'accidents matériels et de victimes sur la route, qui se traduit par une réduction des coûts sociaux correspondants) ;
3. Des réductions des atteintes à l'environnement (moins de gaz d'échappement toxiques et d'émissions de gaz à effet de serre)

3.4.1. Dépenses d'investissement et d'exploitation

Les investissements qui sont prévus dans la situation de référence sont destinés à la réhabilitation de matériel roulant et la construction d'une partie de l'autoroute évaluée à plus de 116 milliards de DA !

Les investissements pour la situation avec le projet ferroviaire concernent : la remise en état (y compris les travaux d'électrification et de signalisation), l'amélioration de l'intermodalité par la mise en place de correspondances avec le transport routier, le doublement de la voie, les rectifications de tracé afin d'augmenter la vitesse commerciale et l'acquisition de matériel roulant. Le montant global de l'opération est estimé à 38 milliards de dinars.

Classiquement, ces investissements ont des durées de vie économique importantes, de l'ordre de 50 ans pour le génie civil et 30 ans pour le matériel roulant. Aussi, au terme de la période d'évaluation considérée ici de 20 ans, le projet est supposé avoir encore une valeur résiduelle qui dépassera les 11 milliards DA.

Quant aux coûts d'exploitation durant la période considérée, ils représentent dans les deux cas les dépenses de fonctionnement des services. Ils sont générés par des dépenses liées aux distances parcourues (personnel d'exploitation, énergie, entretien du matériel roulant) et des coûts fixes (dépenses de personnel hors personnel d'exploitation, dépenses d'entretien des installations fixes). Les montants pour le mode ferroviaire, durant la période considérée, sont d'environ 600 millions de dinars.

3.4.2. Gain en CEV

La valorisation des gains en CEV est estimée globalement à 1 000 MDA. Ce montant concerne aussi bien les autocars que les taxis.

Le calcul des CEV pour les différentes catégories de véhicules concernées se fait en additionnant les postes de coûts suivants : l'amortissement, le carburant, les pneumatiques, l'entretien et réparations, l'équipage, l'assurance, les coûts de structure (intérêt, administration,...). Ainsi, les résultats des CEV, hors valeur de temps des passagers sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Coûts fixe et variable des véhicules routiers

Poste de coût	Autocar (DA/km)	Taxi (DA/km)
Coût fixe	11,5	3
Coût variable	12,5	4,5
TOTAL	23,5	7,5

3.4.3. Gain en entretien routier

La dégradation de la chaussée est principalement causée par les poids lourds. Du fait de la diminution de circulation des autocars dans la situation avec projet.

La part des gains en entretien routier est estimée à 20 MDA. Son calcul est basé sur un coût unitaire estimé à 0,6 Da/véh-km.

3.4.4. Gain de temps

Les temps de parcours en autocars et taxis dépendent de la congestion, et deviennent aléatoires en heure de pointe. D'autre part, ces véhicules ne partent pas à des horaires précis mais attendent d'être pleins avant de partir, ce qui provoque incertitude et manque de ponctualité. Aussi, des gains de temps qui représentent environ 20% par rapport à la situation sans le projet, ont été prévus. Leur estimation monétaire ici est de l'ordre de 4 000 MDA.

L'hypothèse retenue pour établir cette estimation est fondée sur la valeur du temps pour motif de déplacement domicile-travail. Elle est estimée à 120 Da/heure, ce qui est égal à 50% du salaire, charges non incluses. Pour le reste des motifs, il sera admis une valeur de moitié plus faible, soit 60 Da/heure.

3.4.5. Gain de sécurité

Les accidents de la route lorsqu'ils se produisent engendrent des coûts directs et indirects très importants dont une bonne partie est prise en charge par l'Etat. Les estimations des capitaux perdus faites par le Ministère des Transports pour l'année 2000 sont ainsi résumées :

Tableau 6 : Estimations des coûts unitaires selon la gravité

Gravité	Coût unitaire moyen (DA)	Éléments retenus dans l'estimation du coût	
Tué	5 650 581	Perte de capacité de production	4 769 280
		Perte de scolarité	574 792
		Coûts médicaux	12 500
		Capital décès	254 009
		Coût des funérailles	40 000
Blessé	169 707	Perte de capacité de production	20 117
		Perte de production des parents	7 360
		Coûts médicaux	32 758
		Coûts des visites à l'hôpital	15 000
		Incapacité de travail	77 722
		Préjudice esthétique Préjudice douloureux	16 750
Accident	85 022	Dégâts véhicules	65 240
		Dégâts causés à l'environnement	
		Dégâts causés à l'infrastructure	
		Frais d'intervention de la protection civile	11 000
		Frais d'intervention des services de sécurité	4 282
Frais de justice	4 500		

Ainsi, au cours de l'année 2000, les accidents de la route ont été évalués par les services du Ministère des Transports à 35 milliards DA sur l'ensemble du territoire national. Les mêmes chiffres actualisés indiquent 65 milliards DA de perte pour l'année 2004. Rapporté au voyageur-km, le coût de l'insécurité routière sont évalués à 0,1 DA, en terme économique.

Compte tenu du nombre d'accidents et de leur gravité sur la liaison Alger-Bouira³, le calcul établi nous permet de conclure à un gain en sécurité d'environ 200 MDA.

3.4.6. Gain en pollution

Il s'explique par le report de trafic de passagers de la route vers le rail dans la situation avec projet qui devrait entraîner une baisse de la circulation d'autocars et de taxis et donc une réduction des atteintes à l'environnement provoquées par les gaz d'échappement des véhicules routiers et des trains à traction diesel. Les gains totaux sont estimés à 600 MDA.

Les coûts de la pollution par unité de trafic sont estimés comme suit :

- VP : 46 DA / 100 véh-km,
- Autocar : 400 DA / 100 véh-km,

³ En 2006, il y a eu dans la seule wilaya de Bouira 776 accidents provoquant 140 tués et 1631 blessés. 60% de ces accidents ont eu lieu sur la RN5.

- Train diesel : 2600 DA / 100 train-km.

Quant aux coûts des émissions à effet de serre, ils sont estimés à 9000 DA par tonne de carbone émise.

3.4.7. Bilan et rentabilité économiques

Pour une situation de référence incluant la construction des tronçons d'autoroute, la série chronologique des avantages et des coûts actualisés au taux de 12 % est en faveur de la mise en œuvre du projet ferroviaire. Selon les calculs effectués par tableur, le basculement a lieu dès que le montant du projet d'autoroute s'approche des 7 milliards de DA, ce qui est bien loin des 116 milliards de DA prévus. Les avantages du projet par rapport à la situation sans projet ferroviaire sont alors :

Tableau 7 : Bilan des gains

Avantages du projet / situation de référence	Unité	VAN
Gains de temps	MDA	4 000
Gains en sécurité	MDA	200
Gains en coûts d'entretien des véhicules (CEV)	MDA	1 000
Pollution	MDA	600
Entretien routier	MDA	20
Total avantages économiques du projet	MDA	5 820

Ces montants nous amènent à conclure à un bilan net de l'ordre de 27,4 MDA (au taux d'actualisation de 12%) et un taux de rentabilité interne de 12%. Selon l'hypothèse de croissance du trafic et sur la base des coûts et avantages qui ont été recensés, quantifiés et traduits en termes économiques, le projet de la ligne ferroviaire apparaît donc économiquement rentable.

4. Conclusion

Le travail présenté ici a permis de montrer que les calculs économiques sont l'élément moteur sous-tendant les décisions politiques. Ils peuvent tenir compte de paramètres généralisés c'est-à-dire, non seulement, les éléments économiques usuels, mais aussi ceux environnementaux, liés à l'aménagement du territoire, l'effet de serre, la consommation d'espace et effet de coupure, le morcellement des territoires, le problème de l'écoulement des eaux, les pressions sur l'écosystème, etc.).

Leur usage ici a mis en évidence les retombées que procure l'usage du transport ferroviaire dans le cas de la liaison régionale Alger-Bouira s'il venait à être employé (nombre de vies humaines épargnées, réduction des coûts d'utilisation des véhicules particuliers, gain en fluidité de trafic, en espace de stationnement à

Alger, usage rationnel en énergie, amélioration des conditions environnementales, amélioration de la qualité de vie, contribution à l'amélioration de l'accessibilité au centre ville d'Alger...). La thèse est davantage confortée par la tendance liée à une motorisation croissante, à l'intensification des échanges économiques, à la polarisation périphérique des activités et donc à une nouvelle spatialisation sur le territoire (déjà visible sur l'autoroute Alger-Blida où des entreprises se sont implantées tout au long de l'autoroute à proximité de Boufarik), au développement de l'urbanisation en région centre.

Le critère ici est d'assurer une « mobilité durable » des personnes et des biens, c'est-à-dire des choix d'infrastructures qui permettent de maximiser le potentiel de croissance de l'économie tout en prenant en compte les impératifs du « développement durable » dans ses trois composantes économique, sociale et environnementale.

Références

- 1- Ministère des Transports, Etude Nationale des Transports : Etudes spéciales, Charges aux usagers de la route. BEDAT et Dar el Handassa, 1990
- 2- BENALLEGUE A., Etude d'évaluation des accidents de la circulation routière, Rapport interne du Conseil National des Assurances, mai 2005, 30 pages
- 3- ROSEN S., 1986 The theory of equalizing differences In Ashenfelter O. and Layard. Eds. Handbook of labor Economics, Volume 1, Elsevier science publishers
- 4- PRUD'HOMME R. et al., Notre système de transport actuel est-il durable ? Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1999, 91 pages
- 5- World Bank. Algeria: Growth, Employment and Poverty Reduction.(January, 1999)
- 6- <http://www.prd.uth.gr/erssa2006/papers/364.pdf>
<http://wwwlib.murdoch.edu.au/adt/pubfiles/adt-MU20050513.141512/02Whole.pdf>
http://www.ufip.fr/fichiers/releve_prix_hebdo.pdf

Typology of the chains of causalities of environmental impacts in the transport sector

Robert Joumard* & Santiago Mancebo**

* Lab. Transport and Environment, INRETS, Bron, France, joumard@inrets.fr

** Transyt, Universidad Politécnica de Madrid, Spain

Résumé

La plupart des évaluations environnementales ne tiennent pas correctement compte de l'ensemble des impacts sur l'environnement, ou utilisent des outils qui ne les représentent guère. Quels sont les impacts sur l'environnement ? Quelles en sont les caractéristiques ? Nous répondons à ces questions à partir du concept de chaîne de causalités, de la source à l'impact final. Les paramètres en sont : le type de source (construction de l'infrastructure, production du véhicule, production et distribution de l'énergie, trafic, et destruction du véhicule et de l'infrastructure), le processus lui-même décrit à travers les principales disciplines scientifiques impliquées, les échelles de temps et de distance de la source aux impacts finaux, le type de cible finale (nature : ressources et écosystèmes ; hommes : santé au sens restreint et bien-être ; patrimoine anthropique ; terre couvrant toutes les autres cibles). Cette analyse nous permet de définir 44 chaînes de causalités.

Mots-clefs : *environnement, impact, typologie, source, processus, cible.*

1. Introduction

To build tools for assessing the impacts on the environment of a transport system or sub-system asks for a definition of the impacts on the environment, defined by final targets and modifications of target. For instance, the final targets of the traffic safety are mainly the humans with death and injuries. To assess each impact, the best way should be to measure the impact itself, by counting or evaluating for instance the number of people injured or dead because the traffic system. But such counting can't be made only *ex-post* and does not give any indication on the causes of the impact, because the impact cannot be linked by a one-to-one relationship with the accidents: the accidents are not the only causality of human death and injuries: local air pollution, greenhouse effect, hazards, among others cause death and injuries. The account of death and injuries due to the accident needs to take into account the process of accident. It is especially easy in the field of traffic safety, much more complex for most of the impacts.

For an evaluation *ex-ante* or for looking for the causes of an *ex-post* evaluation, a clear and precise relationship has to be established with the transport system. Each process, each chain of causalities from the source to each final impact on the environment has to be described in detail: in terms of sources, intermediate and final targets, mechanisms between intermediate sources and intermediate targets. Such description allows us also to express clearly what a potential indicator does measure and does not measure, and on which scientific mechanisms an indicator should be based. For instance the global warming potential evaluates the global temperature increase and not really the final impacts of greenhouse effect as sea level increase, the amount of fauna, flora and human habitat destruction, the food chain changes... The knowledge of the physical mechanism of the climate and temperature modifications as a function of greenhouse gas emissions allowed to build the shape of the indicator 'global warming potential'.

At the same time, the description of the chains of causalities allows us to define quite precisely the term 'environment': What are the impacts on the environment? What are their characteristics or typical features?

The most common presentation of the environment, especially by economists, considers it as a resource used by the humans for producing economic goods. This resource is an ecosystem, i.e. the association between a physicochemical and abiotic (the biotope) environment and a living community characteristic of the latter (the biocenosis), including fossil resources. This resource is destroyed but can be renewed at a given extend: the environmental issue is a question of resource stock, resource flow and capacity of the biosphere to support the effects of the human activities (carrying capacity): It calls the 7th principle of the Rio declaration (UNCED, 1992): "*...to conserve, protect and restore [...] the integrity of the Earth's ecosystem [...] the pressures their societies place on the global environment*". The pressure-state-impact (PSI) system from OECD seems well applicable to this meaning with a pressure representing a flow.

In parallel, the environment is often understood as the quality of our physical environment or the quality of life: a calm area with pure air and pure water, a beautiful landscape... (Job, 2005; Gudmundsson, 2007 for instance). It calls the first principle of the Rio declaration: "*Human beings [...] are entitled to a healthy and productive life in harmony with nature*". It is here often difficult to consider only flows or pressures.

These both meanings of the environment correspond roughly to the external and internal territory sustainability by Wackernagel and Rees (1999): the internal sustainability consists in protecting its direct environment and living area, but the external sustainability consists in protecting the world.

2. Precise list of environmental impacts

Such definitions are much too global and rough to be useful for describing the environmental issue or the impact on the environment of a human activity as the transport system, and for designing environmental impact indicators. An exhaustive list of the chains of causalities is necessary to present a full picture, especially if the explicit aim is to identify the most important issues (Black, 2000; Borken, 2003), and even to choose the issues of some importance for decision making (Ahvenharju et al., 2004; Nicolas et al., 2003; Zietsmann & Rilett, 2002): How to identify the important issues with a top-down approach without an encompassing assessment of all relevant impacts?

But the definition of the environmental or ecological impacts is neither clear nor precise in the literature. The environmental impacts are often listed (USEPA, 1996; OECD, 1996; Swedish EPA, 1996; OECD, 2002; EEA, 2002; COST 350, 2002; Borken, 2003; Ahvenharju et al., 2004; Goger, 2006 or Goger & Joumard, 2007; Joumard & Nicolas, 2007), as in public surveys at national (Boy, 2007) or international level (EC, 20008). The lists are often heterogeneous, merging sources, intermediate states of the environment as local air quality, water quality, and final impacts on the environment as visual effects. For instance USEPA (1996) or Ahvenharju et al. (2004) list mainly the pressures or the first consequences of the transport system on the environment rather than environmental impacts (although designed as impacts). Beside some impacts quite always mentioned as climate change, photochemical pollution or noise, some others are rarely mentioned as soil erosion, vibration, light pollution, hydrologic and hydraulic risks, odours, soiling or visibility. Dimming and fire risk are not mentioned at all in the twelve references studied. Some impacts listed are very wide, merging several impacts on the environment, as air pollution or protection of soil and landscape. Goger (2006) or Goger & Joumard (2007) give the most precise list but only due to atmospheric pollutant emissions: In this field, impacts are distinguished when they are due to different chains of causalities, taking into account the fact that the impact categories shall together enable an encompassing assessment of relevant impacts, which are known today (completeness), but at the same time should have the least overlap as possible (independence).

In addition, the content of each chain of causalities depends on the society where it appends. Esoh Elame (2004) for instance show how the values and beliefs of the cultural heritage of given African peoples determine in a large extend the items of the nature they want to protect. Similar relationships had been shown by Roqueplo (1988) or Brüggemeier (2000) in the case of forests and acid rains in Germany. More generally Lammel & Resche-Rigon (2007) show how the concept of environment itself differs between holistic societies as Totonaque, Inuit or Badui ones and individualist / analytic societies as the western ones.

3. The concept of chain of causalities

We propose to enlarge the pressure-state-impact structure to the concept of process or chain of causalities between a cause and a final impact, with possibly a succession of couples cause-impact. A good example is the greenhouse effect with the greenhouse gases emission (GHG) as a first cause, which by physical phenomenon increases the earth temperature, which modifies the global and local climates, with impacts on the agriculture, sea level, with impacts on all the biocenosis including the humans. If an initial pressure can be easily detected (GHG emissions), there are afterwards a lot of intermediate states and impacts.

Another advantage of the concept of process or chain of causalities is to be much wider than a stock or flow problem inspired by physics: any process can be taken into account, as cultural, psychological, psycho-physical, biological effect, and of course physical. A chain of causalities can be described through:

- The element(s) of the transport system (or any other sector), which is at the begin of the process, taking into account the life cycle approach, ie. considering all the activities involved. Three main subsystems are involved (infrastructure, fuel, vehicle), and for each of them five types of activities (production, existence, use, maintenance, destruction). All together there are 13 subsystems-activities, as the use of the infrastructure, final energy and vehicle is considered common to the three subsystems (i.e. the traffic). The 13 subsystems can be simplified into four by considering the three main subsystems but extracting the traffic.

- The final targets: Goger (2006) and Goger & Joumard (2007) consider three targets (nature, humans, man-made heritage) and a pseudo-target, the earth. In addition the Eco-indicator approach (Brand et al., 1998; Goedkoop & Spiersma, 2000) includes three types of endpoint damages: resources, ecosystem quality, and human health. The two first are subdivisions of the target nature. The (human) health is defined by World Health Organisation (WHO, 1946) as "*a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity*". Therefore it is useful to distinguish health in a restricted meaning (absence of disease or infirmity) and the complement so-called human well-being, because the processes are often very different. Finally we get a target structure with six targets: the resources, the ecosystems (both together the nature), the human health in a restricted meaning, the human well-being (both together the humans or the human health as defined by WHO), the man-made heritage, the earth.

- The in-between elements, i.e. the chain of causalities between the transport system and the final targets, to be described in detail. To design impact indicators, it is important to know the scientific milieu able to understand the process, and therefore to give the scientific disciplines involved. We propose a first and simple science structure: physics, chemistry, biology, psychology/sociology. It is

important also to know if the process is linear or not, and if the transport system characteristics are major or minor explanation parameters, in order to know how these characteristics can be used for indicator building. Finally the reversibility is a major parameter from the sustainability point of view; The distance and time scales indicate who is concerned.

The whole picture disaggregates the different impacts found in the literature in order to understand the complexity of the processes involved, to identify the related sciences and to estimate the order of magnitude of the impact in space and time.

4. Typology of chains of causalities

According to this structure, a typology of the chains of causalities of the environmental impacts of the transport system is proposed Table 1 (without the elements of the transport system). 30 aggregated chains are distinguished, and 44 when taking into account differentiation in the last steps of the process corresponding to different final targets. The chains are independent and encompass all the relevant impacts found in the literature. The description of the chains could be more detailed, by dividing a chain into two or more chains, if it is considered as not homogeneous in terms of process or targets. In addition some chains can be missing.

A contrario, the aggregation of impacts is possible when the knowledge necessary to build impact indicators is similar and if the main characteristics of the chain are similar. As, to be practical, the number of categories should amount to a not too high number, and considering the importance of each impact and the availability of indicators, some impacts could be merged, or minor chains be deleted. Because it is important to give the possibility to further users to perform such simplifications, the chain structure has to be as detailed as possible: It is easier to merge and delete than to add processes.

5. Conclusion

To describe the environmental impacts of an activity as transport through a complete list of independent chains of causalities allows us firstly to give a precise definition of the term 'environment'. In the literature, the differences in the impacts considered translate often the research area of the author, and, when the work is more global, the local perception of the environmental or ecological issue. For instance the loss of visibility above the cities, due to air pollution, is often cited in North America, but never in Europe, although the physical situations are similar. It is especially important to define the term environment, when today the environmental issue is taken into account by most of the transport specialists without precise knowledge of this field: In this case the environmental issue is very often reduced to greenhouse gases or to few well known impacts, or are

reduced unconsciously to impacts for which simple to use assessment tools are available.

According to COST 356 (Joumard, 2008), *an indicator of environmentally sustainable transport is a variable, based on measurements, representing potential or actual impacts on the environment, or factors that may cause such impacts, due to transport systems, flows or policies, as accurately as possible and necessary*. The precise description of the environmental processes constitutes then a powerful tool for indicator assessment, similar to but more completed than that done by USEPA (1996). *A priori*, it can be stated that the more to the right the indicator is, the more precise the final impact is. It is mainly a tool to define what precisely an indicator does represent: Does it represent the final impact, or an intermediate one? How accurately is the process translated into the indicator function? Which relevant impacts are not taken into account by existing indicators? Isn't it possible double counting?

When the aim is to design new indicators of environmentally sustainable transport, the knowledge of the process indicates which scientists should be asked about the best way to represent the impact. It is also a comprehensive basis to study the social perception of the environmental issue by survey, whom outputs can be used to balance the quality of local air, of regional air, noise, greenhouse effect... according to the focus placed on each of these impacts, as made for the Personal Security Index designed by the Canadian Council on Social Development (Tsoukalas & MacKenzie, 2003).

References

- 1- Ahvenharju S., T. Könnölä, R. van Grol, W. Walker, L. Klautzer, W. Röhling, R. Burg, R. de Tommasi, M. Arendt, P. Steiner, P. Bickel & G. De Ceuster (2004): Operationalising Sustainable Transport and Mobility: The System Diagram and Indicators. SUMMA Deliverable 3, Rand Europe report, The Netherlands, 104 p.
- 2- Black W. R. (2000): Toward a measure of transport sustainability. Transportation Research Board Meeting, Conference Preprints, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- 3- Borken J. (2003): Indicators for sustainable mobility – a policy oriented approach, *1st International Symposium "Environment & Transport"*, Avignon, France, 19-20 June 2003, proceedings, n°93, Inrets ed., Arcueil, France, p. 87-94.
- 4- Boy P. (2007): Les représentations sociales de l'effet de serre (8^e vague d'enquête). Report, RCB Conseil, Paris, 39 p.
- 5- Brand G., Braunschweig A., Scheidegger A. & Schwank O. (1998): Weighting in Ecobalances with the ecoscarcity method – Ecofactors 1997. BUWAL (SAFEL) Environment Series, No. 297, Bern. www.e2mc.com/BUWAL297%20english.pdf
- 6- Brüggemeier F.J. (2000): Waldsterben: the construction and deconstruction of an environmental problem. Rencontres eur. pour une histoire de l'environnement, Clermont-Ferrand, France, 4-6 mai 2000, 8 p.
- 7- COST 350 (2002): Integrated Assessment of Environmental Impact of Traffic and Transport Infrastructure, executive summary of final deliverable of Working Group 1. 7 p. [/www.rws.nl/rws/dww/home/cost350/](http://www.rws.nl/rws/dww/home/cost350/)
- 8- EC (2008): Attitudes of European citizens towards the environment. EC report, Brussels, 92 p. March 2008. http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/eb_special_en.htm#295
- 9- EEA (2002): TERM report 2002. European environment agency, Copenhagen.
- 10- Esoh Elame J. (2004): Interculturaliser le développement durable. Colloque *Développement durable – leçons et perspectives*, Ouagadougou, Burkina Faso, 1-4 juin 2004. www.francophonie-durable.org/documents/colloque-ouaga-a1-esoh.pdf
- 11- Goedkoop M. & Spriemsma R. (2000): *The Eco-Indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. Methodology report. 2nd Edition, 214 p. www.pre.nl/eco-indicator99/ei99-reports.htm
- 12- Goger T. (2006): Un indicateur d'impact environnemental global des polluants atmosphériques émis par les transports. Thèse, Insa Lyon, 28 nov. 2006, et rapport Inrets, n°LTE 0633, Bron, France, 283 p. <http://cost356.inrets.fr/>
- 13- Goger T. & Joumard R. (2007): A method of building an aggregated indicator of air-pollution impacts. 3rd int. conf. *Sustainable development 2007*, 25-27 April 2007, Algarve, Portugal.
- 14- Gudmundsson H. (2007): Sustainable Mobility and incremental change – Some building blocks for IMPACT. Report, Danish Transport Research Institute, Copenhagen, 79 p.
- 15- Job L. (2005): Agriculture, environnement et développement durable : une analyse des effets des politiques contractuelles en France. In Maréchal J.P. & Quenault B.

- (dir.) : Le développement durable, une perspective pour le XXI^e siècle. PUR, Rennes, France, 422 p., p. 149-164.
- 16- Joumard R. (2008): Definitions of indicator within the COST action 356 EST. Seminar COST 356 EST "*Towards the definition of a measurable environmentally sustainable transport*", 20 February 2008, Oslo, Norway. <http://cost356.inrets.fr/>
 - 17- Joumard R. & Nicolas J.P. (2007) : Méthodologie d'évaluation de projets de transport dans le cadre du développement durable. 12^e coll. int. *Évaluation environnementale et transports : concepts, outils et méthodes*, 18-22 juin 2007, Genève, Suisse.
 - 18- Lammel A. & L. Resche-Rigon (2007) : La pollution atmosphérique comme objet cognitif : diversité des perceptions. In L. Charles, P. Ebner, I. Roussel & A. Weill "Evaluation et perception de l'exposition à la pollution atmosphérique", collection Primequal-Predit, la Documentation Française, Paris, p. 71-84.
 - 19- Nicolas J.-P., P. Pochet & H. Poimboeuf (2003): Towards sustainable mobility indicators: application to the Lyons conurbation. *Transport Policy*, Vol 10. p. 197–208.
 - 20- OECD (1996): Environmental criteria for sustainable transport: Report on phase 1 of the project on Environmentally Sustainable Transport (EST). OECD report, OECD/GD(96), Paris, 96 p.
 - 21- OECD (2002): Impact of Transport Infrastructure Investment on Regional Development. <http://www.cemt.org/pub/pubpdf/JTRC/02RTRinvestE.pdf>
 - 22- Roqueplo P. (1988) : Pluies acides : menaces pour l'Europe. Economica, Paris.
 - 23- Swedish EPA (1996): Towards an environmentally sustainable transport system. Swedish EPA report, n°4682, 52 p.
 - 24- Tsoukalas S. & MacKenzie A. (2003): Personal Security Index 2003: A reflection of how Canadians feel five years later. CCSD, Ottawa, 87 p. www.ccsd.ca/pubs/2003/psi/
 - 25- UNCED (1992): Rio Declaration on Environment and Development. 3 p. www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=78&ArticleID=1163
 - 26- USEPA (1996): Indicators of environmental impacts of transportation - Highway, Rail, aviation and maritime transport. USEPA report, 230-R-96-009, Washington, USA, 268 p.
 - 27- Wackernagel M. & Rees W. (1999): *Notre empreinte écologique*, Ecosociété, Paris, 207 p.
 - 28- WHO (1946): Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conf., New York, 19-22 June, 1946; signed on 22 July 1946 by the representatives of 61 States (Official Records of the World Health Organization, no. 2, p. 100) and entered into force on 7 April 1948.
 - 29- Zietsmann J. & L. Rilett (2002): Sustainable Transportation: Conceptualization and Performance Measures. Report No. SWUTC/02/167403-1, Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System, College Station, Texas, 163 p.

Table 1: Proposed list of the main chains of causalities of environmental impacts with some characteristics. Target: R: Resource, ES: Ecosystem, H: Health, HWB: Human well-being, MMH: Man-made heritage, Earth.

Identifi- cation	reversibil- ity, distance and time scale	Chain of causalities (states and processes) and <i>final impact</i> (main scientific disciplines involved: P: Physics; C: Chemistry; B: Biology; PS: Psychology / Sociology)		Target
Acidifi- cation	Mm, year	<i>(incl. secondary effect of photochemical pollution)</i> Emissions of NO _x , SO ₂ , dispersion in atmosphere (P), possibly wet and dry deposition, chemical reaction (C) and therefore formation of acid compounds,	dispersion in air, water and soil (P), ecotoxicity on fauna / flora (B). <i>Decrease of ecosystem health, loss of biodiversity</i>	ES
			deposition on surfaces (P), chem. reactions with materials (C). <i>Loss of man-made heritage (PS), destruction of archaeol., classical or historic remains (P), loss of cultural legacy (PS)</i>	M
Direct toxicity	km, day	Emission of particles and air pollutants, dispersion in the atmosphere & water (P), sometimes dispersion in food (P),	<i>direct ecotoxicity on fauna and flora (B)</i>	ES
			<i>direct restricted health effects (B)</i>	H
Eutrophi- cation	10 km, year	Emissions of NO _x , dispersion in the atmosphere & water (P), increase of plant biomass (B), <i>anoxia of fauna and flora (B)</i>		ES
Habitat fragment- ation	practical- ly irrev., km, year	Land take by infrastructure building,	cutting of the fauna habitat (B), <i>loss of ecosystem health, loss of biodiversity</i>	ES
			cutting of the human habitat, <i>reduction of living areas of people (B, PS)</i>	HWB

Hydraulic changes	km, year	Land take, hydraulic changes, <i>modification of fauna, mainly, and flora habitat (P, B)</i>		ES
Land take	practically irrev., km, year	Land take by infrastructure building,	waterproofing of areas, <i>decrease of ecosystems (P, B), loss of biodiversity</i>	R?, ES
			waterproofing of areas, <i>loss of natural and wildlife protected areas</i>	ES
			waterproofing of areas, <i>loss of available land for humans, modification of outdoor recreation areas (PS)</i>	HWB
			destruction of archaeological, classical or historic remains (P), <i>loss of cultural legacy (PS)</i>	M
Soil erosion	km, year	Transformation of natural areas, <i>decrease of ecosystems (P, B). Loss of biodiversity</i>		ES
Biofuel agriculture	km, year	Agriculture for biofuels, transformation of natural areas, <i>disappearance of fauna and flora (B)</i>		R?, ES
Light pollution	Mm, min	Emission of light, modification of luminosity of the open space (P), modification of biota behaviour(B), <i>effects on biota health</i>		ES
Ozone depletion	earth, year	Emission of halogen compounds, dispers. in atmosphere (P), chem. reaction (C) ozone layer depletion, UV increase on earth (P),	<i>ecotoxicity on fauna, flora (B)</i>	ES
			<i>health effects (B)</i>	H
Photo-chemical pollution	Mm, day	Emission of NOx, NMVOC, CO, dispersion in the atmosphere (P),	<i>health effects (B)</i>	H
			<i>loss of agriculture productivity (B)</i>	R
			<i>ecotoxicity on fauna, flora (B)</i>	ES
			deposition on surfaces (P), chemical	M

		chemical reaction (C) and therefore increase of photochemical pollutants as ozone,	reactions with materials (C), loss of man-made heritage (PS), destruction of archaeol., classical or historic remains (P), <i>loss of cultural legacy</i> (PS)	
			secondary effects: greenhouse gas, acidification	(ES), (M)
Non-renewable resource use	irrev., Mm, 100 years	Non-renewable resource use, <i>decrease of metals, fossil fuels availability for the future</i> (P)		R
Traffic Safety	partially irrev., m	Accidents, <i>human death, injuries</i> (B)		MMH
Non-recyclable waste	Partially irrevers. (nuclear w.), all	Waste disposal (incl. nuclear waste), dissemination in the nature (P), <i>impacts on health and ecosystems</i> (B)		ES, HH, HWB
Soil and water pollution	100 km, year	Emission of gaseous, liquid or solid pollutants, dispersion in the soil and water (P),	<i>ecosystem health</i> (B)	ES
			<i>health effects</i> (B)	H
			<i>recreational areas forbidden</i> (PS)	WB
Hydraulic risk	km, year	Risk of floods, <i>destruction of natural and human habitat</i> (P)		ES, MMH, M
Direct waste from vehicles	100 m, year	Waste thrown directly from the vehicles, accumulation. <i>Annoyance</i> (PS), especially if the landscape is of high quality		HWB
Technological hazards	km to earth, day -	Industrial accidents, incl. nuclear power plants. Dispersion in the atmosphere, soil and water (P), <i>biological impacts on humans and biota</i> (B)		ES, HH

	century			
Noise	km, hour	Emission of noise, diffusion, absorption or reflection by surfaces (P),	<i>disappearance of calm areas</i> (PS)	HWB
			<i>annoyance for people</i> (PS), <i>health effects</i> (B)	MMH, HWB
			<i>ecosystem health</i> (B)	ES
Introduction of non-native species	Earth, irrev.	Introduction of non-native species, small individuals, seeds... disperse and survive (B), modification of biocenosis, <i>loss of biodiversity</i>	ES	
Habitat disruption by wakes / anchors	km	Emission of wakes, microhabitat changes. <i>Loss of biodiversity, loss of ecosystem health</i>	ES	
Biota collision	partially irrev., m	Fauna collision from small insects to big mammals or fish, damage by anchors. <i>Loss of biodiversity</i> (B).	ES	
Fire risk	10 km, year	Fire ignition by sparks, matches... or accidents. <i>Destruction of natural and human habitat</i> (P)	ES, MMH, HWB	
Odours	100 m, hour	Emission of VOC, dispersion in the atmosphere (P) at short distance, <i>sensitive pollution perceived by smell</i> (PS)	HWB	
Soiling	100 m, year	Emission of PM, dispersion in atmosphere (P) at short distance, deposition on surfaces (P), chemical reactions with materials (C), <i>sensitive pollution perceived by the sight</i> (PS)	HWB	
Visibility	100 m, day	Emission of PM and atmospheric pollutants, dispersion in the atmosphere (P) at mid distance, chemical reaction in air (C), <i>sensitive pollution perceived by the sight</i> (PS)	HWB	
Visual qualities of	practically irrev.,	Land use, infrastructure presence, <i>annoyance</i> (PS), especially if the landscape is of high quality	HWB	

landscape / townscape	km, year		
Vibration	100 m, hour	Heavy traffic vibrations, mass diffusion, <i>destruction of earth houses (P), annoyance (PS)</i>	HWB, M
Greenhouse effect	irrev., earth, century	Emission of air pollutants, dispers. in atmosphere (P), sometimes chemical reaction (C), creation of secondary pollutants, increase of greenhouse effect (P), climate change (P), sea level increase (P), <i>destruction or modification of habitat for fauna, flora and humans (P), change in food chain (B), economic losses (PS)...</i>	Earth
Dimming	100 km and earth, day to month	Emission of aerosols, dispersion in atmosphere (P), physical reactions (P) and sometimes chemical reactions (C), regional dimming, regional temperature decrease, global climate changes, <i>destruction or modification of habitat for fauna, flora and humans (P), change in food chain (B), economic losses (PS)...</i>	Earth

Influence du trafic routier sur la pollution atmosphérique dans la ville d'Oran.

F. Rahal *, N. Benharat **, DD. Rahal ***, FZ. Baba Hamed ***

* Département d'architecture, ** Département de Chimie, *** Département de Génie Civil USTO BP 1505 El M'naouer Oran, Tél: 0772.43.73.13, e-mail: farid.rahal@assila.net

Abstract.

In Algeria, one of the causes of the atmospheric pollution in urban zones is the road network density which supports an automobile traffic in constant growth using mostly fuels not corresponding to rules promulgated in environmental protection. The air pollution problem in urban environment concerns all the agglomerations, particularly in Oran city Modelling, simulation and the forecast are necessary to preserve environment and population's health.

ORAN-AIR system, which we developed, consists of a database (DB), a geographical information system (GIS) and a calculation and treatment module. The DB concerns urban morphology of Oran city, the density of road network, circulation flow and the automobile typology. System ORAN-AIR interacts with the COPERT modelling system.

Key words: Air pollution, G.I.S, Database, Modelling, COPERT.

1. Introduction.

En Algérie, l'une des causes de la pollution atmosphérique en milieu urbain est la densité du réseau routier qui supporte le trafic d'un parc automobile en croissance constante utilisant le plus souvent des carburants non conformes aux règles édictées en matière de protection de l'environnement. Le problème de la pollution atmosphérique en milieu urbain se pose à toutes les agglomérations, mais il l'est encore plus pour le cas de la ville d'Oran.

2. Pollution atmosphérique due à la circulation automobile.

L'évaluation des niveaux de pollution en proximité des axes de circulation est un exercice complexe, compte tenu des nombreux facteurs à prendre en considération à cette échelle. Les concentrations en polluants enregistrées en bordure de voie dépendent en effet des émissions locales générées par le trafic automobile, des paramètres influant sur la dispersion des polluants (météorologie locale et

configuration de voirie) et des niveaux de concentration de fond des zones environnantes. Chaque portion de voie représente donc un cas particulier en terme de caractérisation de la qualité de l'air. HANNEQUART (2002)

3. Le cas de la ville d'Oran.

A Oran, la situation est particulièrement alarmante. En effet, une récente analyse d'air a affiché 10.000 Uj/ m³ de **monoxyde carbone** en 24 heures.

Il a enregistré pour l'année 2004, 2871 cas de maladies respiratoires dont 1666 cas de tuberculose ayant refait surface après son éradication.

Le nombre des urgences respiratoires pour la même année a été estimé à 21.000 cas, avec des pics à chaque changement climatique.

Les causes de ces maladies respiratoires sont liées à la pollution de l'atmosphère.

Oran est dotée d'un réseau routier très dense. Il l'est particulièrement à sa périphérie et au centre-ville, comme on le verra ci-dessous.

L'agglomération d'Oran s'étend sur un terrain plat. Elle a été bâtie sur un site démunie de contraintes naturelles majeures ayant favorisé l'aménagement d'un réseau de voirie dense et maillé en forme d'éventail. (Figure 1)

4. Le système de veille sur la qualité de l'air : ORANAIR.

Le système de veille sur la qualité de l'air de la ville d'Oran, ORANAIR a pour objectif de veiller sur la qualité de l'air, d'alerter sur les éventuels dépassement des normes, de faire des analyses sur la variation des taux de pollution selon les périodes voulues.

Il permet d'estimer la pollution atmosphérique à partir du trafic routier urbain d'Oran.

ORANAIR interagit avec le modèle **COPERT** pour le trafic routier et il pourra par la suite alimenter le modèle **CHIMERE** pour prévoir la pollution de fond. RAHAL (2005).

Le système ORANAIR prend en compte les éventuelles surémissions en cas de pente et indique pour chaque rue s'il existe le phénomène de rue canyon ou pas. (Figure 2)

5. Le volet : trafic routier.

Concernant le trafic routier, les données en entrée du logiciel sont les informations de comptage automobile, les vitesses de circulation, le plan de la ville (orientation et nom de chaque rue), La base de données topographique de la ville où sont représentés les bâtiments avec une grande précision (morphologie de chaque rue et nombre de voies) et les données générées par le modèle **COPERT** (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport- Centre Européen de

Matière sur l'Émission d'Air) concernant la relation entre la vitesse de circulation et les émissions des différents polluants. HANNEQUART (2002)

Les émissions sont donc fonction de trois paramètres :

- le parc automobile
- le trafic journalier
- la vitesse de circulation.

Selon COPERT (figure 3), le module de calcul du système ORANAIR fait l'estimation des moyennes journalières des CO, SO₂, NO_x, COV et particules.

Les résultats de l'estimation sont consultables à partir de l'interface du logiciel et du SIG intégré à ORANAIR. (Figure 4)

6. Conclusion.

Un tel système demande, bien entendu, à être étalonné par des mesures d'émissions réelles. La validation se fera avec l'entrée en service prochaine des appareils de mesure installés par l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable à Oran.

Le réseau routier supporte un parc automobile en croissance continue entraînant en milieu urbain des effets nocifs sur l'environnement.

Des mesures incitatives et coercitives devront être prises à cet effet.

Ainsi, il y a lieu d'une part, d'envisager la généralisation de l'utilisation de carburants moins polluants comme le SIRGHAZ, et d'autre part de taxer les carburants particulièrement polluants. La pollution atmosphérique en milieu urbain liée à la densité du réseau routier peut atteindre des pics inquiétants. Il y a lieu dès lors de la communiquer aux citoyens et aux automobilistes par l'affichage de toute augmentation significative par des panneaux le long des routes ou par d'autres moyens. Pour ce faire, un système d'alerte doit être opérationnel.

Bibliographie.

- 1- F. RAHAL (2005) : Gestion de la pollution atmosphérique à oran. Le système ORANAIR », - mémoire de Magistère Juin 2005 Oran. 165 pages
- 2- DD. RAHAL (1990) : Gestion du patrimoine, cas du Logiciel Energie Territoria - Thèse de Doctorat, Juin 1990, INSA de Lyon (France), 189 pages.
- 3- FZ. BABA HAMED (2005) : Contribution des SIG pour l'étude des zones à risque en milieu urbain. Le système ORAN RISK - mémoire de Magistère, , Mai 2005. Oran 142 pages
- 4- L. LEFRANCQ (2002) : Les SIG dans la politique de développement durable de l'Union européenne et la gestion du patrimoine culturel L'exemple de la ville de Marseille , Université de Provence, 2002 86 pages.

- 5- J-P. HANNEQUART (2002) : La lutte contre la pollution atmosphérique dans la région de Bruxelles-Capitale - Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement, Novembre 2002, 105 pages.



Figure 1 : Réseau routier principal de la ville d'Oran.

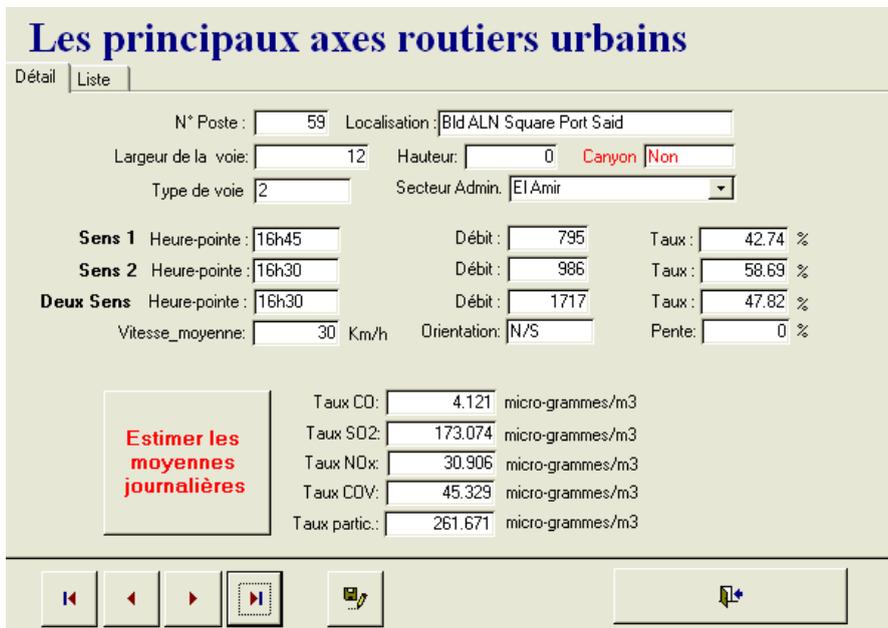


Figure 2 : ORANAIR - Les principaux axes urbains avec l'estimation des polluants selon la méthodologie COPERT

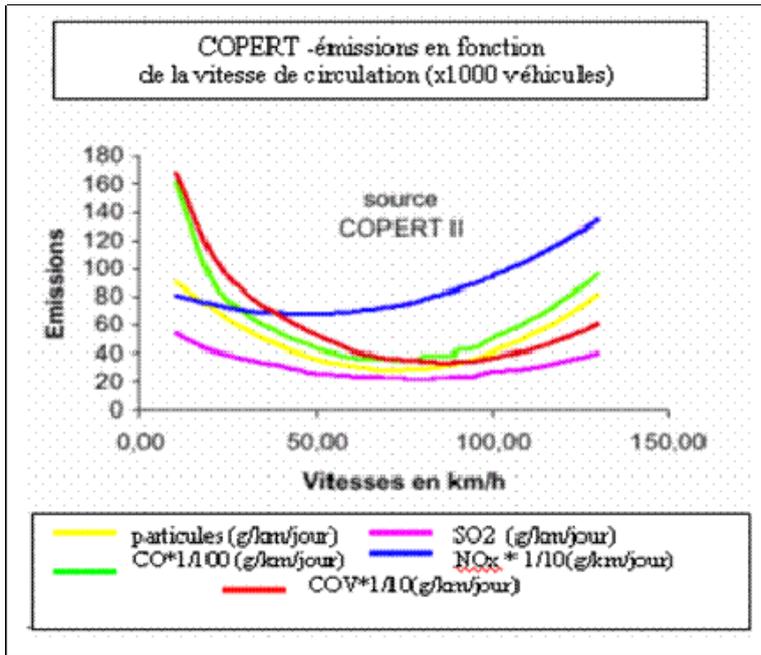


Figure 3 : Emissions en fonction de la vitesse de circulation - Modèle COPERT.

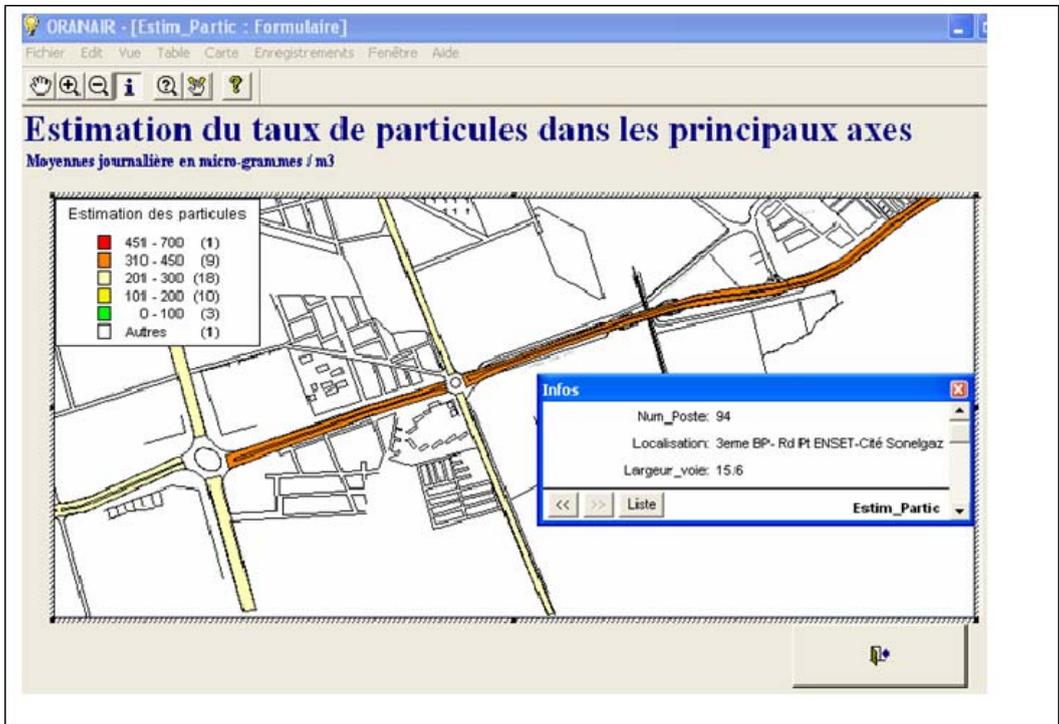


Figure 4: ORANAIR - Estimation du taux de particules généré par le trafic automobile.

Concentrations et flux des retombées particulaires et métalliques au niveau de l'agglomération de Constantine

Nassira Seraghni, Hocine Ali– Khodja & A.F. Derradji

Laboratoire Pollution et Traitement des Eaux (LPTE), Université Mentouri de Constantine, BP N°235 Route de Ain El Bey 25000 Constantine- Algérie

Facultés des Sciences Exactes, Département de Chimie, Université Mentouri de Constantine.

email: n_seraghni@ yahoo.fr

Abstract

Air pollution in the town centre of Constantine is the source of great concern for the population and the services of environment and health due to the increasing number of vehicles of all types commuting within and past the city and to the exiguity of urban space. This pollution consists of gas, vapor and solid particles originating primarily from road traffic and secondarily from industrial activities. It represents a very complex mixture of chemical substances whose composition varies considerably according to the fuel and engine types, the age of the vehicle fleet and the time of the day. Since Constantine is not an industrial town, pollution is primarily of urban origin. The particulate component of airborne pollution was studied. A network of three deposition gauges installed in three different sites (the University hospital of Constantine CHUC, the town council of Daksi Abdeslem area and the Direction of Health (DDS) of Belouizdad avenue) as well as a total suspended particulates (TSP) sampler in the latter allowed to evaluate concentrations of TSP, trace metals (Pb, Cu, Zn, Cd...) and alkaline metals (Na, K, Li, Ca...) in the air. A wireless weather station was installed at the top of the highest building within the university hospital and allowed to study the influence of weather parameters on the dispersion of pollutants.

Key words *particulate pollution, trace metals, road traffic, deposition.*

1. Matériaux et techniques expérimentales

La quantification des poussières totales en suspension et des métaux en traces a été réalisée au moyen d'un échantillonneur de l'air portable sur trépied type "portable tripod high volume air sampler GT2200" de marque Andersen (voir figure 1). La période du prélèvement s'étale sur deux campagnes de prélèvements: du 25-26/11/2004 au 06-07/10/2005 puis du 07-08/05/2006 au 26-27/06/2006. Ce

collecteur est installé sur une terrasse à une altitude de 10 m au niveau de la direction de la santé (DDS). Ce site, sécurisé est situé au milieu du tissu urbain et loin de toute source directe de pollution. Les prélèvements de poussières par des filtres en fibre de verre sont effectués pendant 24 heures \pm 1 heure une fois tous les 6 jours. Ces filtres sont emmenés à la fin du prélèvement au laboratoire pour y subir des analyses chimiques.

Un réseau de trois jauges de dépôt (Norme NF X 43-006(figure 2)) installées au niveau de trois sites, en l'occurrence, le Centre Hospitalo-Universitaire de Constantine (CHUC), l'APC de Daksi Abdeslem et la Direction de la Santé de l'avenue Belouizdad (DDS), a permis d'évaluer les niveaux des retombées de poussières, de métaux en traces (Pb, Cu, Zn, Cd...) et de métaux alcalins (Na, K, Li, Ca...).

Une station météorologique sans fil installée au niveau du CHUC a permis d'étudier l'influence des facteurs météorologiques sur la dispersion des polluants.

Les solutions obtenues après chaque traitement sont soumises à une analyse au photomètre à flamme pour les métaux alcalins et une analyse au spectromètre d'absorption atomique pour les métaux lourds.

2. Résultats et discussion

Les figures 3 à 5 représentent les concentrations mesurées des particules totales en suspension, des métaux en traces (Cd, Cu, Pb) et des métaux alcalins (K, Na, Ca, Ba) au niveau du centre ville de Constantine. Certaines concentrations sont très élevées. En effet, la situation géographique du site et sa morphologie rendent les facteurs météorologiques très influents par rapport à la concentration des polluants tant en ce qui concerne les précipitations et la sécheresse que la distribution des vents (vitesse et direction). En effet, la distribution des fréquences des classes de stabilité indique que l'occurrence d'une atmosphère stable et très stable l'emporte sur celle relative aux atmosphères très instable et instable. Ces conditions sont favorables à l'accumulation des polluants à l'endroit d'émission, ce qui, dans le cas des gaz d'échappement, représente un facteur d'exacerbation de la pollution urbaine. Les concentrations des poussières totales en suspension (PTS) enregistrées au niveau de l'avenue Belouizdad dépassent de deux fois la norme admise par l'OMS (World Bank Group, 1998). Les éléments en traces métalliques présentent des niveaux très disparates. C'est ainsi que les concentrations annuelles de plomb et de cadmium sont cinq fois et deux fois respectivement inférieures aux normes annuelles édictées par l'OMS (OMS, 1987), World Health Organization (2000).

La concentration moyenne de cuivre observée durant la durée totale de l'étude est, quant à elle, excessivement supérieure à la norme recommandée aux USA (CalEPA, 1996). Le facteur de dépassement est de l'ordre de trois fois cette dernière. Par ailleurs, les concentrations des métaux alcalins sont très importantes.

Les figures 6 à 9 nous ont permis de quantifier les niveaux des retombées atmosphériques totales au niveau de trois sites urbains dont certains sont très élevés (figure 10). On note aussi que les flux des retombées totales et métalliques au niveau du CHUC sont plus élevés que ceux observés au niveau de l'APC et la DDS. Les valeurs moyennes des retombées totales au niveau des trois sites dépassent la valeur guide édictée par la TA-Luft Allemande (World Bank Group, 1998). En ce qui concerne les retombées métalliques, les flux de plomb dépassent la valeur guide Allemande au niveau des trois sites contrairement à celles du cuivre qui sont toutes inférieures à la valeur guide correspondante. En ce qui concerne le cadmium, les retombées sont de 21 fois la norme au niveau du CHUC mais sont largement inférieures au niveau de l'APC et de la DDS (Ronneau 1996). Cependant, les concentrations des métaux alcalins ainsi que leurs flux au sol sont très importantes.

La rose des vents (figure 10) indique que les vents prédominants à Constantine durant la période allant du 21/10/2004 au 21/06/2006 sont de tendance ESE, SW et NW, avec des fréquences de 9,38, 10,29 et 10,03 % respectivement.

Une recherche de l'effet de la direction du vent sur les retombées de poussières et une analyse des résultats obtenus dans cette étude permettraient d'identifier la direction des sources possibles. Qin et Oduyemi (2003) ont identifié la direction des sources principales responsables des concentrations de PM10 à Dundee en comparant les contributions moyennes de chaque secteur de vent ($M_i \times P_{ij}$) aux retombées totales ($\sum M_i$) aux fréquences moyennes du vent. Si la contribution moyenne d'un secteur de vent donné est plus élevée que la fréquence moyenne du vent dans ce secteur, il s'ensuit que les sources se trouvant dans ce secteur exercent une forte influence dans cette direction. A l'inverse, ces sources exercent une faible influence dans cette direction.

Les contributions moyennes des secteurs de vent aux retombées totales peuvent être calculées comme suit:

$$E_j = \sum M_i P_{ij} / \sum M_i$$

Où E_j (%) est la contribution moyenne du secteur de vent j (1 à 16) à la masse des retombées

M_i est la masse de poussières ou d'élément en traces de l'échantillon i (1 à 10)

P_{ij} (%) est la fréquence du secteur de vent j durant la période de prélèvement i .

Globalement, on constate que la contribution des vents au niveau de la DDS venant des secteurs NNE à ESE et WSW à WNW est supérieure à la fréquence moyenne du vent dans ces mêmes secteurs pour les retombées totales. En ce qui concerne le cuivre, ce sont les secteurs SSE à SW et W à NNW qui contribuent à ces retombées. L'origine de ces dépôts est liée probablement au trafic routier et aux engrais utilisés en agriculture. Pour le plomb, ce sont les secteurs NW à NE et

ESE à SSE qui contribuent à ses retombées. Ces secteurs reflètent l'influence de la zone industrielle de Didouche Mourad, d'une part et, du trafic routier aux abords de la cité Loucif jouxtant l'hôpital (CHUC). Pour le cadmium, ce sont les secteurs NE à E et WSW à WNW qui contribuent aux retombées totales. Leur origine est presque commune à celle des retombées totales. Elles seraient liées au soulèvement des poussières dans ces directions et qui seraient riches en engrais contaminés par du cadmium. Pour le potassium, ce sont les secteurs NNE à ENE qui contribuent essentiellement à son dépôt. Le potassium proviendrait des embruns marins.

Quand aux retombées de calcium, de baryum et de sodium, ce sont les secteurs W et WNW qui contribuent à leurs dépôts. On conclut que ces métaux ont des sources d'émission communes. Cela peut s'expliquer par l'influence de la cimenterie et de l'incinérateur de l'hôpital.

Les secteurs qui contribuent le plus au dépôt de poussières au niveau du CHUC sont les directions NNW à NE qui englobent la cimenterie de Hamma Bouziane et sa carrière, d'une part, et les secteurs SE et SSE où se concentre le trafic routier à proximité de l'hôpital. Pour les métaux lourds, les secteurs qui contribuent nettement à leurs dépôts sont de SE et SSE tout comme pour les retombées totales et reflètent l'impact du trafic routier.

En ce qui concerne le calcium, le baryum, le sodium et le potassium, ce sont les secteurs NNW à NE et SE qui contribuent à leurs dépôts reflétant l'influence de la cimenterie, de la zone industrielle de Didouche Mourad, des embruns marins et du trafic urbain.

Les secteurs N à ESE et WSW à WNW contribuent aux retombées des poussières au niveau de l'APC. La cimenterie de Hamma Bouziane et sa carrière se situent au nord de la ville de Constantine. Les terres agricoles se trouvent dans les secteurs NNE à ESE. Le secteur ESE est caractérisé par un trafic routier intense.

Par ailleurs, ce sont les secteurs déjà mentionnés dans le cas de la DDS qui contribuent au dépôt de plomb et de cadmium. On pourrait en conclure que ces sources sont plutôt distantes de la ville de Constantine. On peut ainsi invoquer la cimenterie de Hamma Bouziane et sa carrière situées au nord de la ville. La contribution des vents aux retombées de traces de plomb dans le secteur SE est tout particulièrement intéressante car elle dépasse de loin la fréquence moyenne des vents dans cette direction (17,06 vs 10,29). On pourrait justifier cet écart par la survenue d'un incendie ayant pris naissance dans le bois de Djebel El Ouahch qui se situe dans ce même secteur. L'origine des retombées de cadmium peut être liée, tout comme dans le cas de la DDS, au soulèvement de poussières contenant des particules de cadmium issues des engrais. Pour le cuivre, ce sont surtout les secteurs ENE à E, WSW à NW qui contribuent fortement à ces retombées.

L'origine de ces dépôts est liée probablement au trafic routier, d'une part, et aux engrais utilisés en agriculture, d'autre part.

Quand aux retombées de calcium, de baryum, de potassium et de sodium ce sont les secteurs NW à SE qui contribuent à leurs dépôts. On conclut que ces métaux ont des sources d'émission communes (en l'occurrence, la cimenterie et les embruns marins).

3. Conclusion :

Cette étude nous a permis:

- D'apprécier les niveaux de pollution particulaire et métallique au niveau de l'agglomération de Constantine;
- De comparer l'intensité des retombées obtenues au niveau des trois sites urbains;
- D'identifier leurs principales origines;
- D'étudier l'influence des paramètres météorologiques sur la dispersion des polluants.

L'exploitation des données météorologiques et des résultats des mesures des retombées au sol des différents polluants particuliers et métalliques a permis d'identifier la direction des sources principales d'émission de ces derniers au niveau des trois sites étudiés. Il faut noter aussi que les niveaux de pollution enregistrés et leur nature sont caractéristiques des activités qui se déroulent dans la ville ou à sa périphérie. On a tenté de mettre en évidence les principales sources d'émission de ces polluants: la cimenterie de Hamma Bouziane et sa carrière, la zone industrielle de Didouche Mourad, l'incinérateur de l'hôpital, le trafic urbain et les activités agricoles.

Références

- 1- AFNOR Recueil des normes françaises. Tome 2. Environnement (1991).
- 2- California Environmental Protection Agency (CalEPA). Determination of chronic toxicity reference exposure levels (1996).
- 3- Ronneau, J. Valeurs guides de l'OMS pour l'exposition à diverses substances. Université Catholique de Louvain. Louvain-la-Neuve, Belgique (1996).
- 4- OMS. Rapport de la 30^{ème} réunion du comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires, Rome (1987).
- 5- World Bank Group. Airborne particulate matter. In: Pollution prevention and abatement handbook. World Bank Group (1998).
- 6- World Health Organization. Air quality guidelines for Europe (Second edition). Copenhagen: WHO regional publications, European series n° 91 (2000).

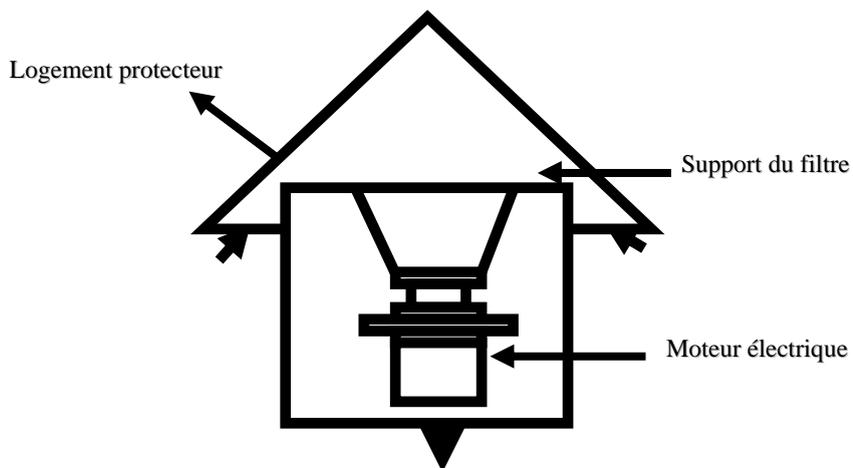


Figure1. Schéma représentatif du collecteur de poussières totales en suspension

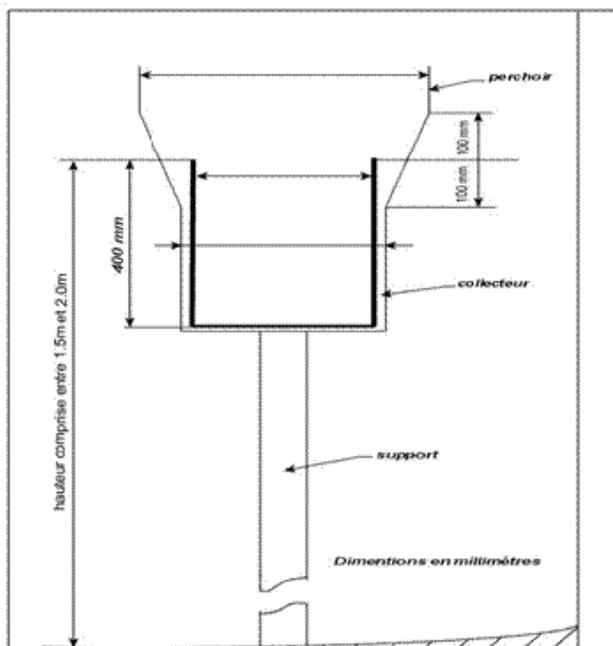


Figure 2 : La jauge de dépôt selon la norme AFNOR (AFNOR Tome 2, (1991))

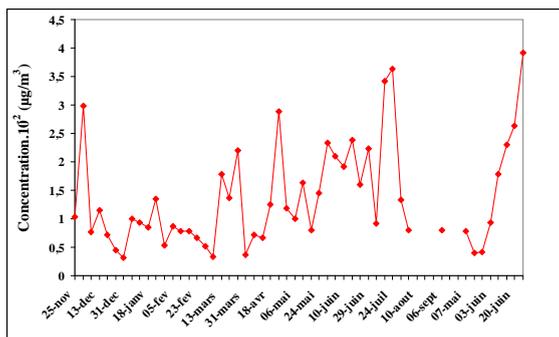


Figure 3 : Evolution des concentrations de particules totales en suspension

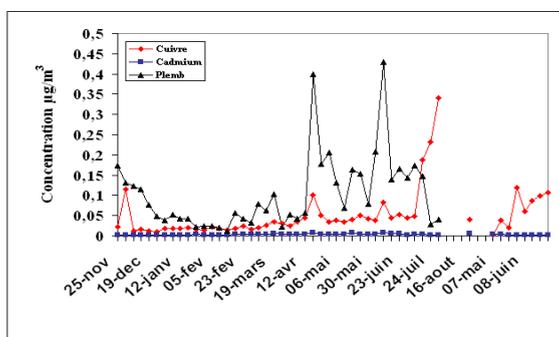


Figure 4 : Evolution des concentrations des métaux lourds dans l'air ambiant

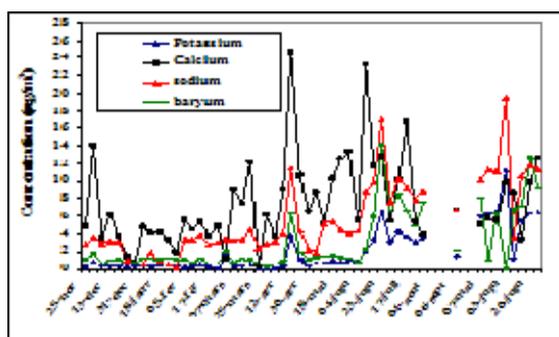


Figure 5 : Evolution des concentrations des métaux alcalins dans l'air ambiant

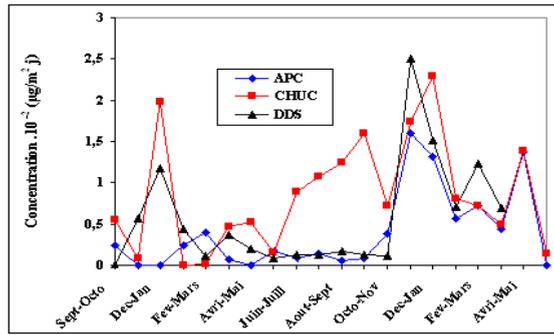


Figure 6 : Evolution des retombées totales cuivre au niveau des trois sites

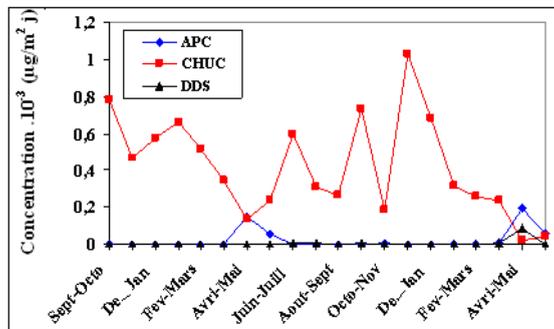


Figure 7 : Evolution des retombées totale cadmium au niveau des trois sites

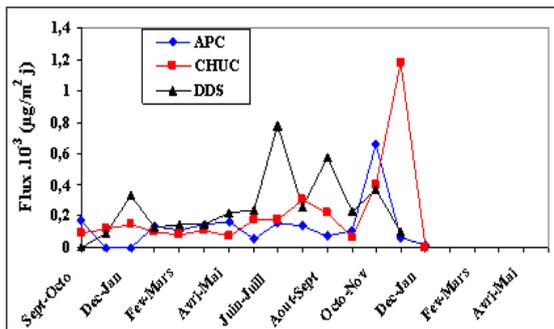


Figure 8 : Evolution des retombées totales de plomb au niveau des trois sites

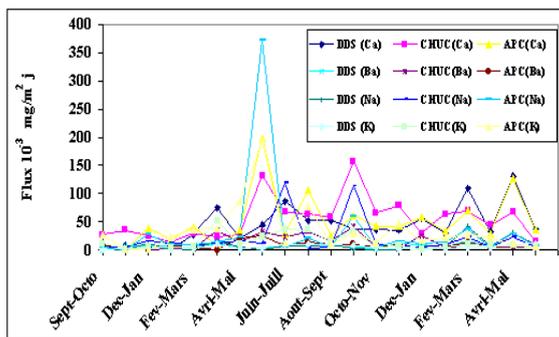


Figure 9 : Evolution des concentrations des métaux alcalins dans des retombées au niveau des trois sites

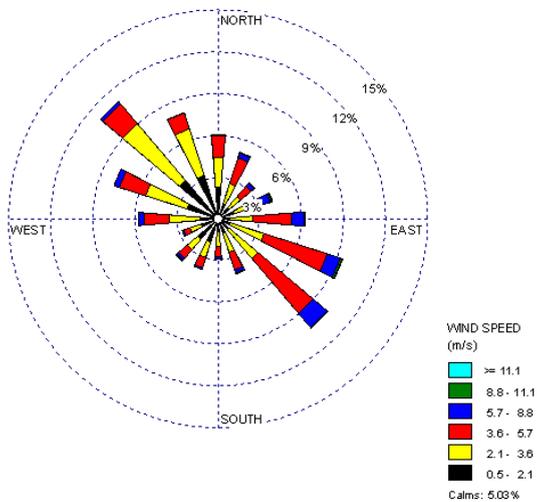


Figure 10 : Rose des vents du 21/10/2004 au 21/05/2006

Transport, pollution atmosphérique, et santé au Maroc : situation, impacts et prévention

Mohamed M'hamdi

Enseignant-chercheur. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales. Département de Gestion et d'Economie. Equipe de Recherche et d'études en Stratégie d'Entreprise et Développement Durable (ERESEDD) Fès- Maroc

TEL : +212 63 37 66 30 // +212 35 64 21 72 FAX : +212 35 64 13 04

Email: mham_moha@yahoo.fr

Abstract:

All development is pushing to increase mobility and then consequently air pollution. There is longer daily distances travelled, especially by car. Transport growth is often seen as a factor development. But it is also essential because changes in air pollution. In Moroccan the transport sector is changing and plays an important role in development. But it replaced industry as the ain source of air. The purpose of our communication is first to put the item on transport infrastructure in Morocco. It then focuses on the impacts of air pollution on health in Morocco. Some of these studies establish a close link between increased air pollution and the number of medical, hospital admissions, the onset or worsening of certain diseases or increased mortality. Efforts have been launched to reduce air pollution at the lowest level permitted by the technical and economic conditions. They rely in particular on regulating emissions of pollutants, the monitoring of air quality, the national inventory of air emissions, planning tools and emergency measures in case of episode Pollution and information and public awareness. The extent of pollution from transport appears not taken into account, even if it is quoted and regulated, it is not accompanied by any repressive measure for offenders, and thus relegated To the order of wishful thinking. Admittedly, cars today are cleaner than those of yesteryear, who had incontinence smoking like chimneys. The fight against pollution must continue, but with new methods. However, it must be emphasized that improving air quality depends on the mobilization of all stakeholders. An effective environmental policy in this area must also be sustained to both guide behaviour in the short / medium term and take into account the requirements of sustainable development.

Keywords: Air pollution, transport, health, Morocco, environment.

1. Introduction

Au Maroc, le parc automobile connaît une grande croissance, il passe de 1 647 269 véhicules en 2000 à plus de 2 000 000 de véhicules en 2007, dont plus de la moitié est concentrée dans la zone Rabat-Casablanca. Il est bien établi que les activités humaines contribuent à modifier la composition chimique de l'atmosphère, de l'échelle urbaine et locale, jusqu'à l'échelle planétaire. Il en résulte une dégradation de la qualité de l'air aux effets multiples. Certes, les causes de la dégradation de la qualité de l'air sont diverses. Mais, le transport reste un facteur important de ce fléau. A lui seul, le transport est à l'origine de plusieurs types de contaminants de l'air à savoir les Oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COV) et la matière particulaire (MP) pour ne citer que les principaux. En matière de lutte contre la pollution atmosphérique et en vue de combler le vide juridique, le Maroc s'est doté d'un arsenal institutionnel et juridique. Notre communication se propose pour objectifs, d'abord, de détecter les problèmes de la pollution atmosphérique tout en s'inscrivant dans le cadre national. Elle porte ensuite sur les impacts de la pollution atmosphère sur la santé au Maroc. Elle met enfin en exergue les initiatives politiques dans le domaine de la gestion de la pollution atmosphérique produite par les transports tout en tentant d'évaluer leur portée.

2. Aperçu général sur le secteur du transport au Maroc

Au Maroc, le secteur du transport peut être apprécié à travers les indicateurs suivants: l'activité transport tous modes confondus contribuent pour environ 6% au produit intérieur brut, emploie 10% de la population active urbaine, participe à raison de 35% à la consommation nationale d'énergie, dont 50% des produits pétroliers, et apportent environ 15% de recette au budget de l'État.

Le parc automobile marocain ne cesse d'augmenter. Il est passé de 1.000.000 de véhicules en 1990 à 1.800.000 en 2003 dont 74% ont un âge supérieur à 10 ans, 18,96% compris entre 5 et 10 ans et 7,04% inférieurs à 5 ans. La part des véhicules fonctionnant au diesel a augmenté régulièrement durant la période 1990-2003 passant de 34,6% en 1990 à 49% en 2003. Les véhicules à essence représentent alors 51% du parc.

Les carburants classiques proviennent essentiellement du pétrole. Celui-ci subit des opérations de raffinage très poussées pour obtenir plusieurs types de produits (essences, diesel, carburacteur, carburants lourds) destinés à alimenter des véhicules très différents, depuis les voitures particulières jusqu'aux avions et navires.

Tableau n° 1 : parc automobile en circulation

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2003
TOTAL	1.297.358	1.359.680	1.404.465	1.458.449	1.524.339	1.600.892	1.675.467	1.800 000
VARIATION %	-	5	3	4	4,5	5	4,7	7,43
ESSENCE %	-	55	54	53	52	51	52	53
DIESEL %	-	45	46	47	48	49	48	50

Source: Ministère de l'énergie et des mines (Maroc)

3. Pollution atmosphérique : Quels effets sur la santé ?

L'homme ne peut choisir l'air qu'il respire. Or, ce dernier transporte des polluants d'origine et de nature diverses capables d'interagir. Ils provoquent de nombreuses maladies dont certaines peuvent être mortelles à plus ou moins long terme. De nombreuses études permettent aujourd'hui d'affirmer que même à des niveaux faibles, la pollution a des effets néfastes sur notre santé. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, "trois millions de personnes meurent chaque année sous l'effet de la pollution atmosphérique, soit 5 % des 55 millions de décès annuels dans le monde. Vu la marge d'incertitude des estimations, le nombre réel des décès annuels pourrait se situer entre 1,4 et 6 millions". Au Maroc, chaque jour, les citoyens inspirent environ 20 m³ d'air. Celui-ci se compose d'un ensemble de gaz et de particules dont la présence et les concentrations sont telles que la vie est possible. Alors que la prise de conscience de l'acuité du problème s'accroît dans le grand public et dépasse les milieux spécialisés, plusieurs alertes sont venues renforcer l'inquiétude que suscite l'évolution de la qualité de l'air dans les villes et tout particulièrement à Casablanca. Parallèlement, des enquêtes sanitaires, permettent de mieux évaluer les risques que présente la pollution atmosphérique pour la santé. Certaines de ces études établissent un lien étroit entre l'augmentation de la pollution atmosphérique et le nombre de consultations médicales, d'admissions dans les hôpitaux, l'apparition ou l'aggravation de certaines pathologies, voire l'accroissement de la mortalité. Les conséquences de la circulation automobile sur la santé seraient plus graves encore que celles des autres polluants habituellement présents dans l'air. Cette pollution a aussi un impact économique par les coûts qu'elle engendre : coût pour la santé, perte de rendement, dégradation des bâtiments. Ainsi, des études de la qualité de l'air ont été réalisées dans les grandes villes comme Rabat, Casablanca, Mohammedia et Marrakech. Ces études ont montré que le degré de pollution atteint est corrélé avec les sources et les émissions existantes. D'autres études ont été également réalisées à Safi, Casablanca et Mohammedia et ont révélé une corrélation directe entre la pollution atmosphérique et les maladies respiratoires (asthme, bronchites,

rhinites, allergies...) chez les populations de ces villes. Un groupe de réflexion issu des différents milieux, associations, scientifiques, écologistes, opérateurs économiques, qui en concertation et sous la tutelle du département de l'environnement, a tenté de mettre au point un indice de la qualité de l'air (indice de pollution, niveau d'alerte,...) qui sera la référence nationale, ainsi qu'un plan d'action pour établir la surveillance quantitative des émissions polluantes dans les régions jugées à risque. Les gaz d'échappement des véhicules augmentent la pollution de l'air. La concentration de plomb dans l'air provenant essentiellement des automobilistes est dangereusement élevée. Elle contribue à une baisse du quotient intellectuel des enfants.

4. Politique de lutte contre la pollution atmosphérique due au transport

4.1. Appliquer les lois et les règlements

Des actions ont été lancées pour réduire la pollution atmosphérique au niveau le plus bas permis par les techniques et les conditions économiques. Elles s'appuient notamment sur la réglementation des émissions de polluants, le dispositif de surveillance de la qualité de l'air, le programme national d'inventaire des émissions atmosphériques, les outils de planification et des mesures d'urgence en cas d'épisode de pollution et l'information et la sensibilisation du public.

Sur le plan réglementaire le gouvernement a adopté des textes très importants, tels la loi n° 11-03 du 12 mai 2003 relative à la protection et la mise en valeur environnementale, la loi n° 13-03 du 12 mai 2003 relative à la lutte contre la pollution atmosphérique, la loi n° 12-03 du 12 mai 2003 relative aux études d'impact sur l'environnement, le décret du 28 janvier 98 (sur les gaz d'échappement des véhicules) complétant l'arrêté du 24 janvier 1953 sur la police de la circulation et du roulage et la loi 28-00 sur les déchets.

Sur le plan de la surveillance, les principales actions menées sont la mise en place de stations de surveillance de la qualité de l'air au niveau des grandes villes notamment, Rabat, Casablanca, Mohammedia, El Jadida, Salé, Kenitra et Safi, et le lancement du programme de cadastres des émissions atmosphériques dans le Grand Casablanca et les villes de Safi et El Jadida. D'autres mesures d'ordre stratégique et financier ont été également prises. Il s'agit notamment de l'amélioration de la qualité du carburant, l'économie d'énergie et la mise en place du Fonds de Dépollution Industrielle.

4.2. Améliorer l'organisation et le fonctionnement du système des transports

- Développement des transports publics (qualité, efficacité, fiabilité, compétitivité, sensibilisation du public).
- Aménagement du territoire (décentralisation et régionalisation – minimisation des déplacements motorisés – contournement du trafic (rocade, voie rapide...)) ;

- Intégration des technologies génériques.

4.3. Réduire la consommation de carburant des véhicules

- Cylindrée des véhicules ;
- Subvention véhicules neufs (déjà entamée) ;
- Retirer du parc véhicules anciens (entamé) ;
- Maintenance et entretien ;
- Revoir prix du carburant.

4.4. Influencer le comportement au volant :

- Arrêter moteur au ralenti ;
- Conduire avec souplesse ;
- Limiter conduite à grande vitesse ;
- Eliminer les éléments dégradant l'aérodynamique (galerie, charge....)

4.5. Exploiter carburant de substitution :

- Réduire la forte dépendance des transports aux combustibles fossiles ;
- Recours au GPLC surtout Transport en commun ;
- Combustibles renouvelables ou même carburant à base d'hydrogène ;
- Véhicules électriques ou hybrides.

4.6. Perspectives complémentaires

- Développer les alternatives de déplacements et en particulier la part du transport collectif par rapport au transport individuel des personnes ;
- Développement des transports propres ;
- Améliorer la technologie afin que chaque véhicule pollue le moins possible ;
- Modifier le type de source énergétique pour les flottes captives ;
- Accentuer le principe pollueur-payeur ;
- Intégrer cette problématique dans les réflexions telles que celles de l'aménagement du territoire ; afin de ne pas multiplier les obligations de déplacements, domicile-travail-loisirs-alimentation en particulier.

4.7. Difficultés et obstacles empêchant la réduction des émissions :

Difficulté : mobilisation des moyens de financement nécessaires pour l'extension du réseau ferroviaire vers le Nord et le Sud du pays.

Obstacles :

- **La mauvaise qualité de carburant** utilisé avec un taux de soufre élevé (1% pour le gasoil, 0,2% pour l'ordinaire et 0,15% pour le super);
- **Le vieillissement du parc**, à peu près 74% du parc dépassent 10 ans d'âge, 18,96% entre 5 et 10 ans et 7,04% moins de 5 ans d'âge ;
- **La cherté et la mauvaise qualité des pièces de rechange** des véhicules (importées), ceci est conjugué à un manque d'entretien et de maintenance des véhicules ;

-Les difficultés d'application des textes réglementaires sur la pollution atmosphérique (acquisition du matériel de contrôle, formation insuffisante en la matière).

- La mauvaise planification territoriale et d'ordonnancement de la mobilité (distributions des zones résidentielles et industrielles, renforcement du transport public.....),

- Financement des Projets Métro pour Casa, Tramway pour Rabat et Marrakech.

5. Conclusion :

L'ampleur de la pollution par les transports ne semble pas prise en considération, même si elle est citée et réglementée, elle n'est accompagnée d'aucune mesure répressive pour les contrevenants, et est ainsi reléguée à l'ordre des vœux pieux. Certes, les voitures d'aujourd'hui sont moins polluantes que celles d'antan, qui avaient l'incontinence de fumer comme des cheminées. La lutte contre la pollution doit donc se poursuivre, mais avec de nouvelles méthodes. Toutefois, il faut souligner que l'amélioration de la qualité de l'air reste tributaire de la mobilisation de tous les acteurs concernés. Une politique environnementale efficace dans ce domaine doit également s'inscrire dans la durée pour à la fois orienter les comportements sur le court/moyen terme et tenir compte des exigences de développement durable.

Références

- 1- Conseil National de l'Environnement (Maroc), Transport et pollution atmosphérique, Février 2002.
- 2- Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (Maroc), évolution du système des études d'impacts sur l'environnement au Maroc, Mai 2007.
- 3- Ministère de la Santé, l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé des populations, Novembre 1995.
- 4- Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (Maroc), Bulletin N° 7, Juin 2007.

Sites Internet :

www.mem.gov.ma
www.ciede.org.ma
www.one.org.ma
www.cder.org.ma
www.minenv.gov.ma
www.unfccc.int
www.iris-kyoto.com
www.gfse.at
http://europa.eu.int/comm/environment/jrec/index_en.htm

Prédiction de la concentration d'un polluant dans l'air à proximité d'une route

Hassane Graïne

Centre de Recherche de Birine. B.P. : 180 Ain Oussera – Djelfa ALGERIE

Tél : 027-87 29 21 / 027-87 29 35. Fax : 027- 87 42 80

email : grainehassan@yahoo.fr

Mots clé : Dispersion atmosphérique, polluant, monoxyde de carbone, dioxyde d'azote.

1. Introduction

La ville de Aïn-Oussera est une ville de la Wilaya de Djelfa, elle est située à 100 Km au nord de Djelfa, et 200 Km au sud d'Alger. Elle connaît un accroissement considérable de sa population, en raison notamment des migrations des villes et villages environnants. C'est la deuxième grande ville de la Wilaya, de par le nombre de ses habitants. Cet accroissement de la population est suivi aussi par un accroissement du trafic routier.

Nous proposons de faire une première estimation de l'impact de ce trafic sur l'environnement.

2. Polluants

Les véhicules à moteur émettent beaucoup de types de polluants comprenant les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (VOCs), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), les particules en suspension, le dioxyde de soufre (SO₂) et le plomb.

2.1. Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz incolore, de densité voisine de celle de l'air, inodore. Il est aussi légèrement soluble dans l'eau et, très toxique ; il a une plus grande affinité pour l'hémoglobine que l'oxygène. Une fois inhalé il est toxique.

2.2. Monoxyde et dioxyde d'azote (NO et NO₂)

Les oxydes d'azote concourent avec les oxydes de soufre au phénomène d'acidification des pluies et des sols. Ils participent également à l'eutrophisation des eaux, phénomène marqué par la prolifération d'espèces végétales à cause

notamment d'apports d'azote dans le milieu. Il joue également un rôle important dans les réactions atmosphériques qui produisent de l'ozone ou le smog au niveau du sol.

3. Modélisation de la Qualité de l'Air

Puisque nous ne pouvons pas mesurer la pollution atmosphérique dans chaque endroit où elle se produit, des modèles sont employés pour simuler la dispersion des polluants atmosphériques loin des sources d'émission, et pour estimer les concentrations de pollution au niveau du sol.

3.1. Le code de calcul CALINE3

CALINE3 est un modèle pour évaluer les niveaux de pollution autour des routes.

Pour calculer la concentration: CALINE3 divise la route en une série d'éléments à partir desquels les concentrations partielles en un point sont calculées puis additionnées. Chaque élément est considéré comme une source linéaire finie, normale au vent et centré au milieu de l'élément. La concentration au vent est calculée par la formule gaussienne classique où l'axe X est dirigé selon la direction du vent:

L'équation Gaussienne de base utilisée par le code de calcul CALINE3 est la suivante

$$dC = \frac{q \cdot dV}{2 \pi u \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp(-y^2/2\sigma_y^2) \left(\exp\left(\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right) \quad (1)$$

dC : Incrément de la concentration.

q : émission.

u : vitesse du vent.

H : Hauteur de la source.

σ_y , et σ_z : Paramètres de dispersion horizontale et verticale.

Developpé par California Department of Transportation. Il est basé sur l'équation de diffusion Gaussienne et utilise le concept de la zone de mélange pour caractériser la dispersion du polluant le long de la route, et il traite chaque source linéique (route linéaire) comme élément de source.

Les paramètres de dispersion vertical et horizontal sigma y et sigma z sont modifiés afin d'y ajouter les effets de la rugosité des surfaces, le temps moyen ainsi que la turbulence induite par le véhicule.

Le modèle CALINE-3 requière des données météorologiques incluant la vitesse et la direction du vent, la stabilité atmosphérique et la hauteur de mélange. La classification Pasquill de stabilité est utilisée avec les coefficients courants.

L'intensité de la source est calculée en utilisant les facteurs d'émission du polluant et le volume du trafic.

Chaque segment est caractérisé par la largeur de la route où l'émission de substances polluantes est considérée uniforme et où les principaux mécanismes impliqués sont la turbulence mécanique des véhicules et la turbulence thermique créée par les hautes températures des gaz d'échappement. Compte tenu de la turbulence mécanique, la largeur de la route doit être majorée sur les deux cotés en fonction de la vitesse des véhicules; sauf dans le cas où la vitesse des véhicules est faible.

4. Elaboration des données d'input.

L'évaluation des concentrations en polluants de l'air, nécessite ;

- (a) les caractéristiques thermodynamique et géométriques des émissions;
- (b) les substances polluantes relâchées;
- (c) le type d'émission;
- (d) le relief du territoire et la nature des édifices dans le voisinage;
- (e) la météorologie du site ainsi que de l'aire intéressée.

En considérant que le parc véhicules soit constitué à part égale de véhicules à essence et de véhicules à diesel, nous considérons un facteur d'émission moyen pour NO_x de l'ordre de 1.2 g/Km, avec des valeurs moyennes de 1.7 et 0.7 g/Km, respectivement pour les moteurs à essence et à diesel.

L'une des causes majeures d'incertitudes, réside dans l'évaluation du facteur d'émissions des véhicules.

Un paramètre important intervenant dans l'estimation des émissions est la composition du parc de véhicules : âge et type de véhicule, carburant utilisé.

Données de base:

La source est du type rectiligne (route), de largeur 10 m, à orientation N-S.

Les valeurs considérées sont:

- flux du trafic: 200 véhicules / heure
- taux d'émission en CO : 20 g / Km véhicule
- taux d'émission en NO : 1.2. g / Km véhicule

- vitesse du vent = 1 m/s
- Rugosité du terrain : 0.08 m

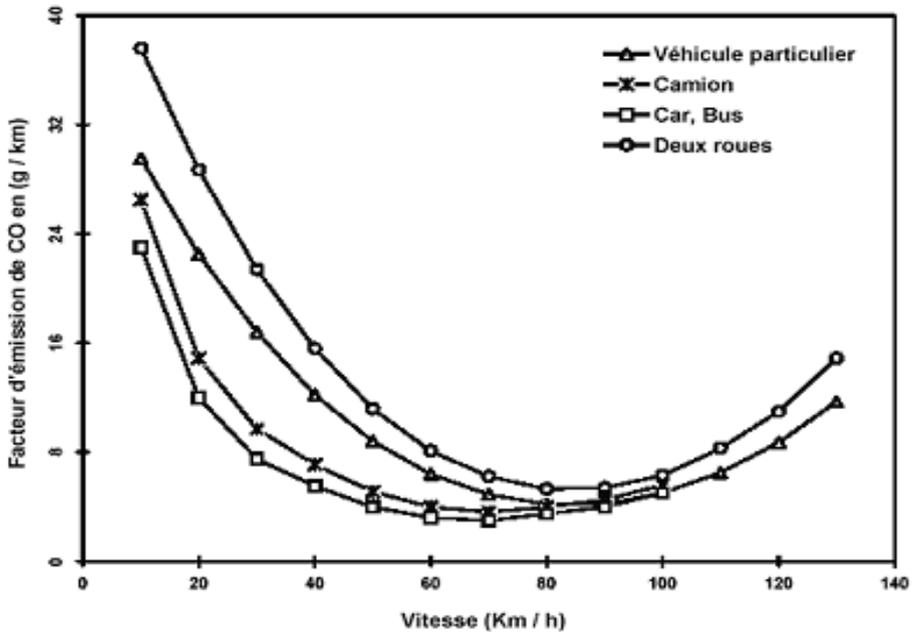


Figure 1 : Facteurs d'émission de CO des véhicules sans catalyseurs.

Tableau 1 : Fréquence selon la direction du vent

Secteur	Nord	N-E	Est	S-E	Sud	S-O	Ouest	N-O	
Fréquence %	19	9	14	5	9	11	23	10	100

5. Résultats

Dans les figures suivantes nous montrons la variation de la concentration en fonction de la distance de l'axe routier pour différentes directions du vent et classes de stabilités atmosphériques. Nous avons choisi une vitesse du vent de 1 m/s, parce que les vents plus forts provoquent une grande dilution et, par conséquent, des concentrations très faibles.

Dans le cas où la direction du vent est parallèle à la route, les valeurs de concentration en CO les plus élevées sont enregistrées à proximité de la route. En outre, pour les autres direction de vent, les valeurs les plus élevées sont entre 10m et 15m de l'axe de la route.

Les valeurs de concentration les plus élevées, sont obtenues par la classe de stabilité atmosphérique nocturne F.

Pour des distances supérieures à 100 m de la route, les concentrations en CO sont dans tous les cas inférieures à 0.3 ppm.

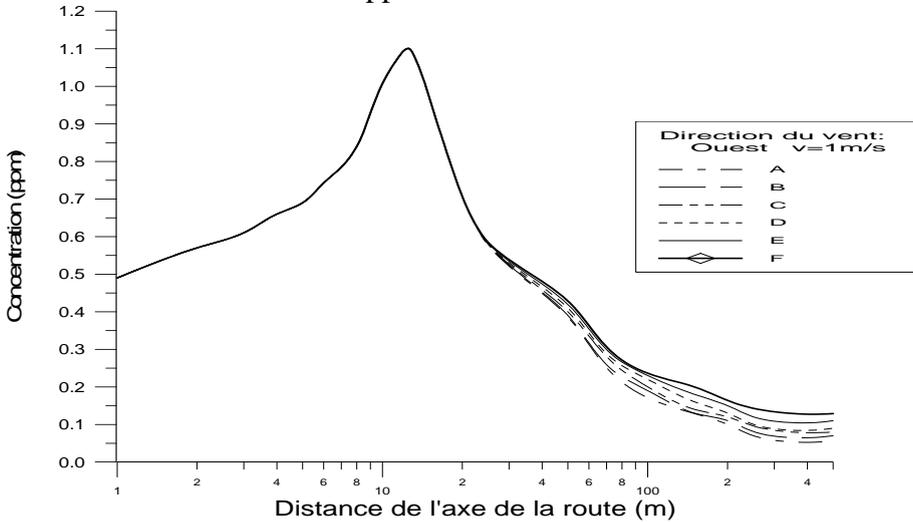


Figure. 2 : Concentration en CO en fonction de la distance, la direction du vent est orthogonale par rapport à la route.

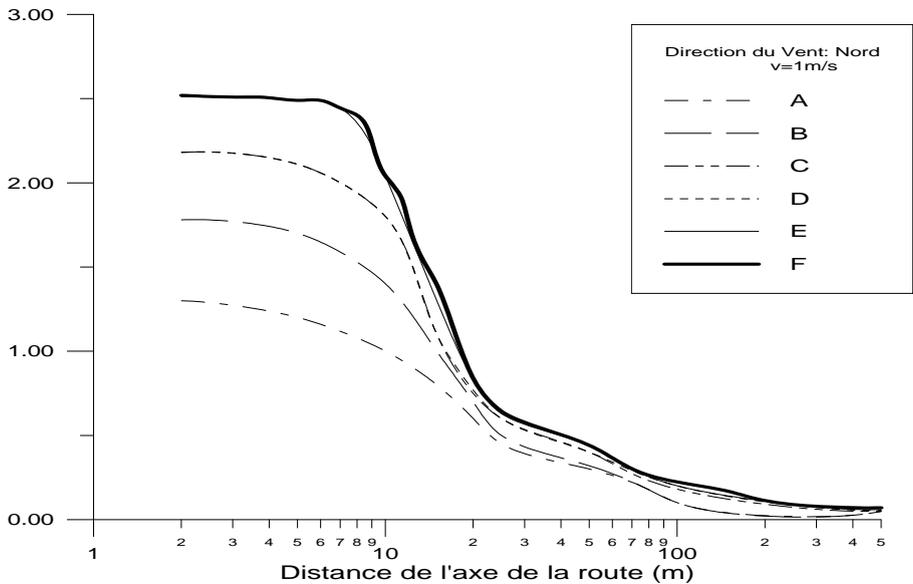


Figure 3 : Concentration en CO en fonction de la distance, avec une direction du vent parallèle à la route.

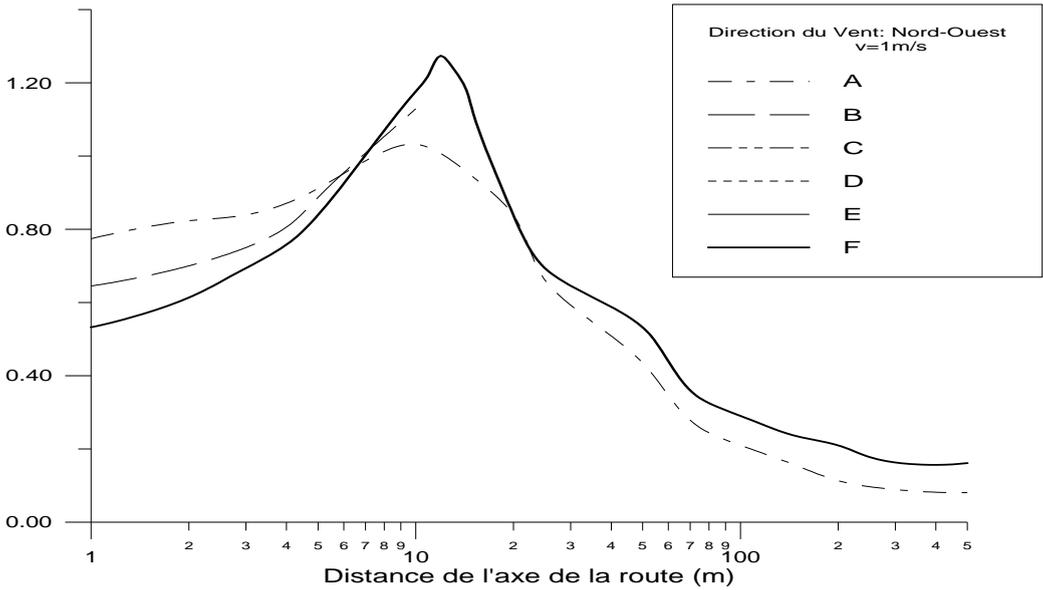


Figure 4 : Concentration en CO en fonction de la distance, avec une direction du vent inclinée de 45° par rapport à la route.

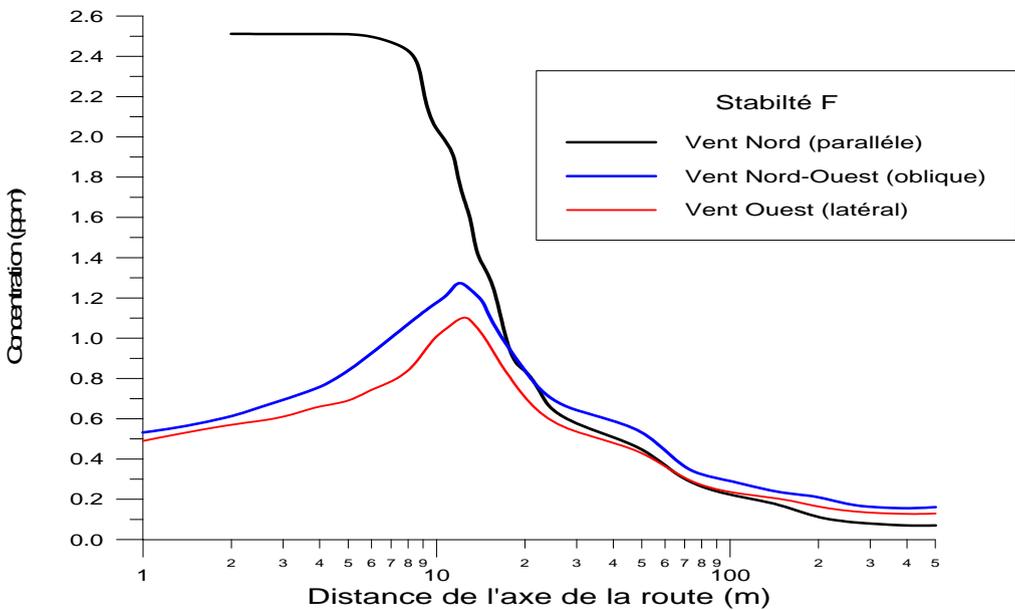


Figure 5 : Concentration en CO en fonction de la distance, pour la classe de stabilité F+G, et selon trois directions du vent (orthogonale, inclinée de 45° et parallèle à la route).

6. Conclusion

A partir de ces calculs on déduit que l'effet des routes extra urbaines sur la diffusion des polluants atmosphériques, liée au trafic automobile, reste confinée à l'intérieure d'une zone de l'ordre de 250 m de part et d'autre de la route. Au delà de cette zone, le facteur d'atténuation de la concentration des polluants est de l'ordre de 10.

Le modèle utilisé apporte une estimation pour une première évaluation de l'impact sur la qualité de l'air du trafic routier; nous avons cherché à fournir aussi une estimation quantitative de la source et des niveaux relatifs de concentrations.

Les difficultés dans l'évaluation de la source pourront être surmontées à travers la mise en place d'un système de monitoring, aussi bien pour l'affluence des véhicules, que pour les données météorologiques et la qualité de l'air. L'utilisation des modèles de dispersion, conduira à une distribution spatiale de concentration plus proche à la réalité.

Références

- 1- CALINE3 - A Versatile Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Levels Near Highways and Arterial Streets by Paul E. Benson Office of Transportation Laboratory California Department of Transportation
- 2- Paul Degobert « Automobile et pollution », Edition Technip 1992, ISBN : 2-7108-0628-2.
- 3- « Elaboration d'un indice d'exposition à la pollution atmosphérique d'origine automobile à l'usage des études épidémiologiques » C. Sacre, M. Chiron, J.P. Flori. The Science of the Total Environment 169 (1995) 63-69.
- 4- « A line source model for Delhi » P. Goyal, T.V.B.P.S Rama Krishna. Transposition Research Part D4 (1999) 241-249. Pergamon 1999.
- 5- Nachida KASBADJI MERZOUK Thèse de Doctorat "Évaluation du Gisement énergétique Eolien Contribution à la Détermination du profil Vertical de la Vitesse du Vent en Algérie». Université Abou Bekr Belkaïd de TLEMCEM, 2006
- 6- US_EPA (1995): *A user's guide for the CALMET meteorological model*; EPA-454/B-95-002
- 7- US- EPA (1995): *A user's guide for the CALPUFF dispersion model*; EPA-454/B-95-006
- 8- Cimorelli A.J., S.G. Perry, A. Venkatram, J.C. Weil, R.J. Paine, R.B. Wilson, R.F. Lee, W.D. Peters, R.W. Brode, J.O. Pauimer (2002): "AERMOD: description of model formulation" – US-EPA 454/R-02-002d.&

L'impact des transports sur les îlots de chaleur en milieu urbain

Haddad louiza¹, Aouachria Zéroual², Sefouhi linda¹

1-Laboratoire des risques naturels et aménagement de territoire Université de Batna - Algérie.

2- Laboratoire de physique énergétique appliquée. Université de Batna - Algérie

e.mail: aouchria90@yahoo.fr

Abstract

Despite that the transport had engendered benefited effects for the society, but, the development has large impacts on the environment. The whole cars policies have produced problems as: -the spectacularly increasing of the consummation of car burnets induced very strong increasing of the pollution in urban medium. The congestion of the traffic in any locations or in any moments

-the multiplication of the accident numbers the increasing of the exhaust from cars and meteorological conditions are essential factors which determine the atmospheric pollution level. These conditions evoke heat exchange and radiance phenomena which takes place between air and sol surface. These exchanges give birth, in urban medium, to effects of the heat islands corresponding to appearance a temperature excess between the agglomeration and its environment. The numerical simulation of the urban panache represents the convective flow on the urban cover which is caused by this heat island with the wind is carried out. The study permits to understand the interactions and mechanisms of phenomena and to view appropriated technical solutions to the problem.

Keywords: *atmospherically pollution, impact on the health, Transport, heat island, flow, dispersion of the pollutant.*

1. Introduction

Le progrès technique a doté le citoyen moderne d'une large gamme de mode de transport plus en plus confortable et puissant entraînant des modifications profondes dans son habitat et dans son mode de vie. Bien que le transport reste indispensable à l'activité de l'homme; il présente, avec son développement, des effets néfastes sur son environnement. En effet, la responsabilité des transports en matière de la pollution atmosphérique est croissante (60% à 80%). On note que, à titre indicatif, 59% du monoxyde de carbone (CO) des émissions viennent du transport et que les teneurs dans l'air en milieu urbain peuvent dépasser une centaine de milligrammes par mètre cube dans des conditions défavorables. Le dioxyde de carbone issue des émissions dues au transport routier prennent une

importance croissante due à l'augmentation de la consommation du carburant. Le CO₂ contribue à l'effet de serre, phénomène naturel qui permet de réfracter le rayonnement infrarouge émis par la terre et participe à l'échauffement de celle-ci. Il est à noter aussi que le transport a une part des rejets, à des proportions différentes, tels que Les oxydes de soufre et d'azote, des hydrocarbures et d'autres, Crtu 1997 et Meyronneinc1998. Avec cet ensemble de données on comprend bien que la circulation participe au réchauffement des villes donc à la constitution d'un îlot de chaleur urbain qui entraîne une diminution de l'humidité relative, une augmentation des pluies orageuses sur les villes qui provoquent la retombée de ces polluants sur les villes entraînés par les gouttes de pluie, Escourrou 1996.

1.1. Qu'est ce qu'un îlot de chaleur urbain ?

Un îlot de chaleur urbain est défini comme une « zone urbanisée caractérisée par des températures estivales plus élevées que l'environnement immédiat », Guay et Baudoin (2005). Typiquement cet excès de température est de l'ordre de $\Delta T = 2$ à 4 °C. Cet excès varie en fonction de la taille de l'agglomération, de la saison, de l'endroit, de l'heure, etc, Martin et Mayster (1988). Ces phénomènes sont associés aux milieux urbains bâtis et plus denses. Ils sont causés par l'absorption de l'énergie solaire par les surfaces urbaines, principalement les surfaces foncées telles que les toits et les chaussées, une partie de cette énergie sera réfléchi (albédo). L'albédo est la mesure de la capacité d'une surface à renvoyer l'énergie solaire incidente (qui arrive à la surface de la terre). C'est un chiffre compris entre 0 et 1, (0 correspondant à une surface parfaitement noire qui absorbe la totalité de l'énergie incidente, et 1 au miroir parfait qui renvoie la totalité de l'énergie incidente).

1.2. Facteurs contribuant à la formation d'îlots de chaleur urbains

Dans les centres urbains, les toits, les murs des bâtiments ainsi représentent des facteurs importants à la formation d'îlots de chaleur urbains. En effet, le fait de transformer et de réduire les espaces verts par des matériaux qui absorbent la chaleur favorise la formation d'îlot puisque ces matériaux, une fois qu'ils ont absorbé la chaleur pendant la journée, la restituent pendant la nuit. En se référant à la figure 1, on retrouve les valeurs d'albédo pour les différents types de surfaces urbaines. L'albédo mesure la quantité d'énergie solaire réfléchi par une surface, Escourrou (1991). Un albédo bas implique des températures de surface plus élevées puisqu'une plus grande quantité d'énergie est absorbée. Par contre, si l'albédo est élevé, cela signifie des températures plus fraîches. Dans ce cas-ci, nous pouvons remarquer que l'asphalte (albédo de 0,05-0,20) ainsi que le goudron et le gravier (albédo de 0,3-0,18) constituent des endroits de prédilection pour la formation d'îlots de chaleur urbains. De plus, les surfaces noires au soleil peuvent devenir plus chaudes que les surfaces blanches, dans un ordre de 21°C. Par

ailleurs, la présence d'un flux de chaleur lié au chauffage urbain, la circulation automobile et l'activité industrielle, sont autant de facteurs significatifs qui contribuent à la formation d'îlots de chaleur urbains. Finalement, le contexte climatique actuel connaît des périodes de chaleur extrême de plus en plus fréquentes contribuant ainsi à des hausses de températures minimales et maximales et par un nombre accru de journées de chaleur accablante favorisant une fois de plus la formation d'îlots de chaleur urbain (figure 2).

1.3. Conséquences des îlots de chaleur urbains

Les îlots de chaleur urbains augmentent la consommation d'électricité pour la climatisation. Il faut donc plus d'énergie pour climatiser les immeubles, ce qui se traduit par une augmentation de la pollution de l'air sous la forme de smog et de dioxyde de soufre, ainsi que de gaz à effet de serre. Les îlots de chaleur urbains peuvent rendre la vie difficile aux gens atteints de maladies respiratoires. Chaque année, des personnes décèdent des suites à la chaleur excessive et accablante. Le problème reste alors complexe et il n'y a pas pratiquement d'études qui fassent la synthèse de l'impact de la pollution automobile sur le climat local. Notre contribution va donc se focaliser sur l'étude de l'influence du transport sur ces îlots de chaleur. Afin de mettre en évidence cet impact sur les îlots de chaleur, l'analyse physique du phénomène est fondamentale tout en ne nous intéressant qu'à la partie de l'énergie générée par le transport. L'étude comportera alors trois parties essentielles; la première présentera une analyse globale du bilan énergétique d'une zone urbaine et dans la deuxième partie, on modélise le problème physique suivi par les résultats commentés obtenus à l'aide du code Fluent en troisième partie en enfin la conclusion.

2. Analyse physique du phénomène

Pour répondre aux préoccupations précédentes, il est nécessaire de souligner les différences existant entre la ville et la campagne. La ville par son originalité présente: une rugosité significative qui oblige l'air à s'élever et modifie le bilan énergétique; un revêtement du sol qui freine le phénomène évaporatoire; une production d'énergie anthropique; émission de grandes quantités de polluants.

Dans la zone d'urbanisation le bilan énergétique normal s'écrit:

$$E^* = (E_D + E_d)(1 - a) + E_L^\downarrow + E_L^\uparrow \quad (1)$$

Où E^* est l'énergie nette reçue, E_D est l'énergie solaire rayonnée directement, E_d est l'énergie solaire diffusée par les aérosols, E_L^\downarrow et E_L^\uparrow les chaleurs latente et sensible respectivement voir fig.3. Le bilan infrarouge, $(E_L^\downarrow + E_L^\uparrow)$, est modifié; en effet, la fraction E_L^\downarrow du rayonnement de l'atmosphère tend à augmenter à cause de grand nombre d'aérosols qui piègent l'énergie solaire et la transforme en infrarouge qui est sensible surtout la nuit, ce

qui explique en partie l'îlot de chaleur nocturne. Malgré ça le bilan infrarouge est peut changer. Pour expliquer la présence de l'îlot de chaleur urbain, il faut tenir compte de la consommation d'énergie reçue par le milieu. Cette consommation s'établit ainsi:

$$E^* + E_a = E_H + E_E + E_S \quad (2)$$

Où E_a est la production de l'énergie anthropique qui est due essentiellement à l'industrie et le transport. E_H désigne l'énergie sensible chauffant les basses couches d'air, E_E est l'énergie latente emportée par l'évapotranspiration et E_S l'énergie stockée dans les constructions. Afin de mettre en évidence l'impact du transport sur les îlots de chaleur, nous nous intéressons à la partie de l'énergie générée par le transport urbain.

3. Modélisation du problème

On assimile les rejets des automobiles à une cheminée qui évacue ces rejets dans l'atmosphère (dioxyde de carbone d'air dans notre cas) avec une vitesse U_0 et une température T_0 et une fraction de polluant Y_0 (CO_2) voir fig. 3. On obtient un panache qui est soumis à la vitesse du vent U_∞ et de température T_∞ . Sous les conditions suivantes: l'écoulement est considéré bidimensionnel, incompressible, obéissant à l'approximation de Boussinesq, turbulent est stationnaire. La vitesse du vent est constante et le gradient de température dans l'atmosphère est négligé. Le site étudié est un domaine rectangulaire et les gaz sont réactifs, Les équations gouvernant l'écoulement de ces rejets s'écrivent:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_i U_j)}{\partial x_j} = - \frac{\partial (P + \frac{2}{3} \rho k)}{\partial x_i} + \frac{\partial \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right]}{\partial x_j} + S_{\text{vitesse}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho C_p T}{\partial t} + \frac{\partial (\rho C_p T U_j)}{\partial x_j} = - \frac{\partial \left[\left(\lambda + \frac{\mu_t}{Pr_t} \rho k \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right]}{\partial x_i} - \frac{\partial [U_i \tau_{ij}]}{\partial x_j} - \sum_1^n (h_a^0 + h) w_a \quad (5)$$

Où $\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$, $h = \sum_1^n Y_a h_a$, $h_a = \int_{T_{ref}}^T c_p dT$, $P = \rho T \sum_{a=1}^n \frac{Y_a R}{M_a}$ (6)

Comme le fluide est mélange, il faut résoudre l'équation de transfert de masse d'espèces

$$\frac{\partial \rho Y_a}{\partial t} + \frac{\partial (\rho U_j Y_a)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(C_p D_m + \frac{\mu_t}{Sc_a} \right) \frac{\partial \rho Y_a}{\partial x_j} \right] + w_a \quad (7)$$

Avec $w_\alpha = b_\alpha Y_\alpha + c_\alpha$, D_m est le coefficient de diffusion de l'espèce Avec les conditions aux limites suivantes :

AB: $U=U_\infty$, $T=T_\infty$, $v=k=Y_\alpha=\varepsilon=0$; BE, FC: $u = v = \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial Y_\alpha}{\partial y} = \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 0$; FG,EH:

$u = v = \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial Y_\alpha}{\partial x} = \frac{\partial k}{\partial x} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0$; CD: $\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial Y_\alpha}{\partial y} = \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 0$;

HG: $u=0$, $v = v_\alpha$, $T = T_\alpha$, $Y_\alpha = Y_0$, $k = 10^{-3}U_0^2$, $\varepsilon = k_0^{3/2}/0.5d$, $d=HG$:

et l'emploi du modèle $k-\varepsilon$, la simulation numérique donne les résultats présentés ci après.

4. Résultats et discussion

La fig.5 présente les lignes de courant obtenues pour un nombre de Reynolds de 10^5 . L'analyse de ces graphes montre que l'état des gaz s'échappant de la cheminée est caractérisé par un tourbillon qui se forme derrière la cheminée et qui représente un obstacle devant l'écoulement. La présence de ce tourbillon piège un grand nombre de particules ce qui conduit ainsi à une accumulation du polluant près de la cheminée. Ce résultat est en accord avec ceux rapportés par Aouachria et Haddad (2007) et Meguellati (2006). Cette accumulation participe à l'augmentation de la température en cette zone donc à la formation des îlots de chaleurs. Les contours de l'énergie turbulente et de sa dissipation, présentés sur la fig.6, montrent que l'énergie k est transportée vers l'aval le long du domaine alors que sa dissipation a une valeur maximale juste à la sortie de la cheminée. Cela explique l'augmentation de la température en cette région plus qu'ailleurs. La fig.7 montre les contours de la viscosité turbulente. On remarque une distribution hétérogène de celle-ci le long du domaine où elle est importante dans la zone de recirculation correspondant à celle de l'énergie cinétique maximale puis elle diminue en se déplaçant vers le haut. La figure 8 montre que les zones les plus chaudes se localisent dans la zone de recirculation qui se situe en général au dessus juste des centres villes. Ceci amplifie encore plus le risque puisque, c'est la nature du polluant (CO_2) généré par la combustion des hydrocarbures qui participe à la formation de l'effet de serre. Pour réduire significativement les impacts de la circulation automobile, l'objectif est de viser à réduire l'utilisation de l'automobile. Ce qui ne peut se réaliser que par une approche visant à favoriser l'utilisation des transports actifs et collectifs, tout en réduisant le nombre de cases de stationnement, création d'un environnement piéton, et procéder à la végétalisation de la ville.

6. Conclusion

Notre modèle a permis de mettre en évidence l'impact du transport sur l'îlot de chaleur urbain par simulation numérique. Et Comme les phénomènes d'îlots de chaleur urbains, de changements climatiques et de pollution atmosphérique sont

inter-reliés, les moyens à mettre en œuvre pour lutter contre ces problématiques le sont aussi. Ceci exige la connaissance de l'impact de chacun de ces paramètres pour définir une politique d'action. L'analyse de l'effet de chaque paramètre est nécessaire pour compléter l'étude de ce problème et d'envisager une intervention complète et efficace.

Références

- 1- Aouachria Z , L. Haddad (2007): Dispersion of a pollutant in air flow along a channel, *Asian Journal of Thechnology*, 6(2), pp:181-184.
- 2- Escourrou G. (1991): Le climat et la ville. Nathan Université, Géographie d'aujourd'hui, p 51.
- 3- Escourrou G. (1996): Transports, contraintes climatiques et pollution, Sedes Paris.
- 4- Guay F. & Y. Baudoin (2005):Portrait des îlots de chaleur urbains à Montréal, FrancVert, vol.2, n°3.
- 5- Martin J., L.Y. Maystre (1988) : Santé et pollution de l'air, Presses polytechniques romandes, Lausanne, p 146.
- 6- Meguellati F (2006) :, Modélisation et simulation de la réactivité d'un polluant en atmosphère par la méthode des différence finies. Application aux oxydes d'azote, thèse de magistère, Faculté des Sciences Université de Batna.
- 7- Meyronneinc J. P. (1998): Le transport face à l'environnement, Celse, Paris.

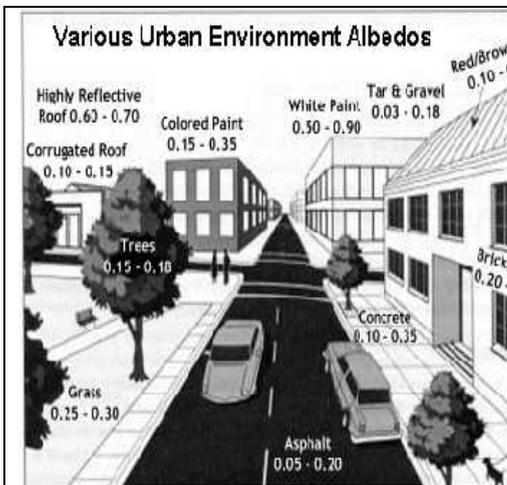


Fig. 1: Variation de l'albédo dans le milieu urbain
[source: Heat island Groun 2002]

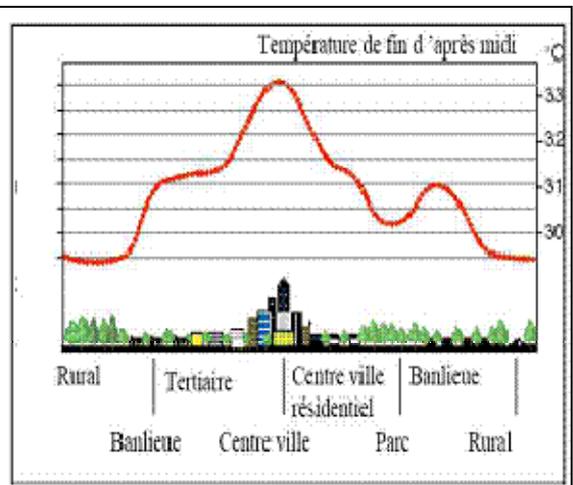


Fig.2: Profil d'un îlot de chaleur urbain
[source: Heat island Groun 2002]

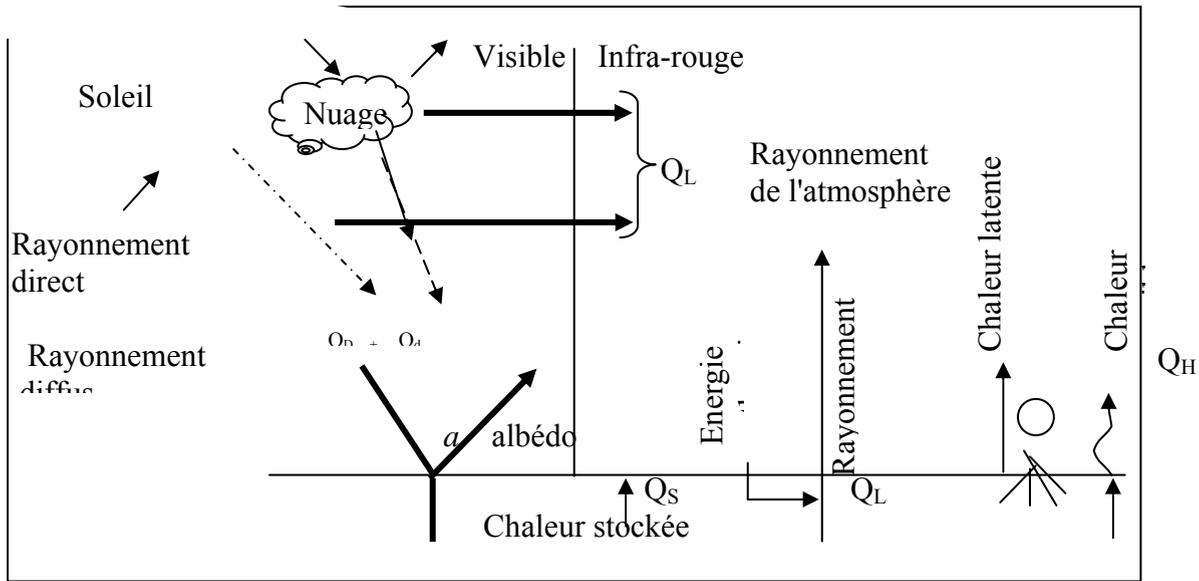


Fig.3: Bilan radiatif de la ville

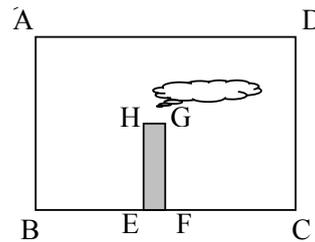


Fig.4: Domaine d'étude et conditions aux limites

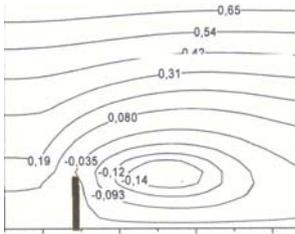
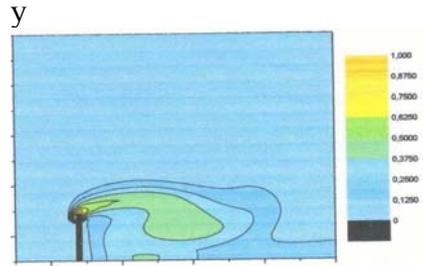
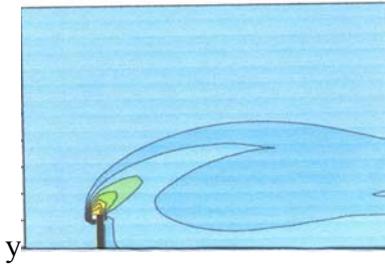


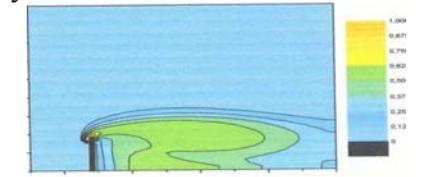
Fig. 5: Lignes de courant



x

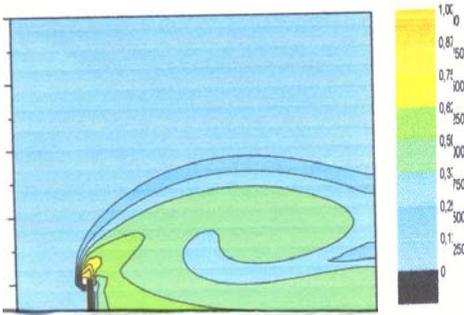


(a)

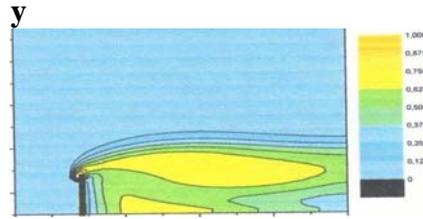


x

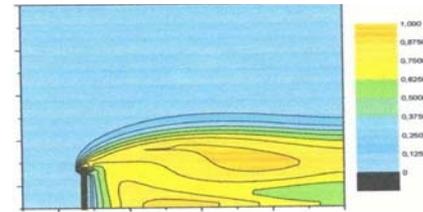
y



(b)



x



x

Fig. 6 Contours: (a)- d'énergie turbulente, (b)- sa dissipation

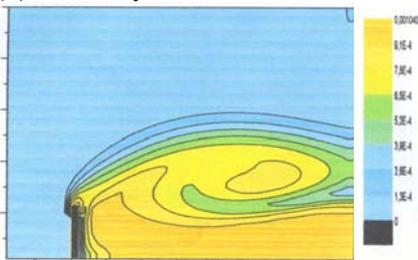


Fig. 7: Contours de la viscosité turbulente

Fig.8: Les iso valeurs des températures pour différents temps adimensionnels

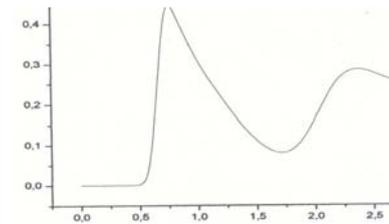


Fig.9: champ de Temperature

Estimation de la pollution atmosphérique hydrocarbonée issue de la circulation automobile dans la ville de Skikda (Algérie) à l'aide de transplants lichéniques

Djamel Fadel * Rachid Djamai ** & Aziz Laifa **

* Univ. Badji Mokhtar case postale 12, 23000 Annaba, Algérie-

Fax (038) 87 54 80 – email : fadeldjamel@yahoo.fr

** Lab. Biologie Végétale & Environnement, Département Biologie, BP 12, Annaba, Algérie

Abstract

*The study of bioindication of the urban atmospheric pollution by using a biological lichenic transplants is a sensible way to quantify the hydrocarbons emitted by the exhaust of motor traffic. As part of our work five sampling sites were selected. They are located near roads. Samples are taken monthly lichéniques to measure the total hydrocarbons bio-accumulated in their thallus to be determined by the gravimetric method. Our work has enabled us on the one hand highlight the importance of hydrocarbon pollution generated by vehicular traffic and the other hand to appreciate the accumulating capacity of the biological indicator of vegetable nature of the lichenous species *Physcia biziana*.*

Key words - Bioindication - lichen - Oil-Traffic - Skikda-Algeria -

1. Introduction

La zone urbaine de Skikda et sa périphérie sont reliées aux routes nationales par des voies secondaires (routes vicinales et communales). Ce dense réseau routier favorise une augmentation exponentielle de l'activité et plus particulièrement celle de la circulation automobile. Elle demeure la principale source de la pollution atmosphérique liée aux émanations des gaz d'échappement qui contiennent de fortes concentrations d'hydrocarbures imbrûlés. Leur quantification nécessite des moyens physiques importants et onéreux (capteurs). Pour palier à ce problème nous avons utilisé des capteurs biologiques de nature végétale représentés par des transplants lichéniques de *Physcia biziana*. En effet, la flore lichénique recèle des propriétés bioindicatrices évidentes Trass (1973), Van Haluwyn (1986), Lebrun (1990) et Semadi (1997) pour être utilisée comme moyen substitutif et complémentaire aux capteurs physiques. C'est à travers elle que nous avons pu doser sur les cinq sites d'échantillonnage, les concentrations des polluants hydrocarbonés et bio-accumulés durant toute la période de notre étude.

2. Matériel et méthode

2.1. Choix des sites d'échantillonnage

La ville de Skikda et sa périphérie sont traversées par un réseau routier important. Il comprend les deux axes constitués par les routes nationales (R.N 44, R.N 44 AB, R.N 3) et les différentes routes vicinales et communales Anonyme (1994). Ce vaste réseau routier génère une véritable source de pollution atmosphérique par les hydrocarbures issus principalement par les émanations des véhicules automobiles. L'échantillonnage des cinq sites s'est déroulé sur une période de six (06) mois. Les transplants comprenant l'espèce lichénique *Physcia biziana* ont été mis soigneusement mis dans des sacs à filet et placés à proximité des axes routiers soit sur des balcons soit sur des arbres sur une hauteur de 04 à 05 mètres. Les 05 sites retenus dans le cadre de nos travaux sont représentés sur la figure 1.

Site 1 : route supérieure de Stora située au nord-ouest du centre ville de Skikda à environ 04 kilomètres. Le transplant a été fixé à 10 mètres de la route.

Site 2 : la zone périurbaine de Béni Malek située à l'ouest à 02 kilomètres du centre ville de Skikda. Le transplant lichénique a été fixé sur un balcon à environ 10 mètres de la route.

Site 3 : zone suburbaine de Skikda appelée Bouabaz. Elle est située à 02 kilomètres au nord-est du centre ville de Skikda. Le transplant lichénique est fixé sur un arbre à environ 10 mètres de la route.

Site 4 : centre ville de Skikda, route Didouche Mourad. Le transplant lichénique a été placé sur un balcon au dessus de la route.

Site 5 : portion de l'autoroute qui relie la route nationale (R.N 44) mitoyenne à la zone industrielle. Ce site est situé au sud-est à environ 04 kilomètres du centre ville. Le transplant lichénique a été fixé sur un arbre distant d'une quinzaine de mètres de la R.N 44.

Le site témoin, représenté par un verger d'agrumes est situé à une vingtaine de kilomètres loin de toutes sources d'émission d'hydrocarbures.

2.2. Matériel échantillonné et méthode d'analyse

L'échantillonnage s'est déroulé sur une période de six [06] mois allant du 21/12/2005 au 21/05/2006, comprenant une période humide qui s'étale du mois de décembre à fin mars. Cette période humide est caractérisée par une pluviométrie relativement importante et des températures minimales et maximales assez basses par rapport à la période sèche. Le matériel échantillonné est de nature biologique représenté par l'espèce épiphyte *Physcia biziana* abondante sur les branches des arbres d'agrumes. L'approche analytique sur la bioindication de la pollution atmosphérique par les lichens a été utilisée principalement dans la quantification des métaux lourds, le fluor, les hydrocarbures et certains radioéléments. Ces

polluants ont été dosés dans les thalles des lichens selon des procédures expérimentales spécifiques. Nous pouvons citer la spectrophotométrie pour la détermination du plomb et du fluor Asta (1980), Deruelle (1983) et Semadi (1983&1989), la gravimétrie pour doser les hydrocarbures totaux, Djebien (2002), Ammari (2004) et Fadel (2007). Dans le cadre de nos travaux, les hydrocarbures totaux accumulés par *Physcia biziana* sont extraits au normal Hexane puis dosés par gravimétrie après évaporation du solvant. Cette méthode d'analyse est largement utilisée pour n'importe quel échantillon saturé en hydrocarbure. La procédure expérimentale de la figure 2 fait ressortir toutes les étapes nécessaires à l'extraction des hydrocarbures bio-accumulés par l'espèce lichénique *Physcia biziana*. Les concentrations en hydrocarbures totaux sont déterminées de manière indirecte selon la formule suivante :

$$P_{(Hct)} = \frac{P_{cp} - P_{cv}}{P_e} \times 10^6$$

$P_{(Hct)}$: poids des hydrocarbures totaux en g/kg ou ppm

P_{cp} : poids du creuset plein

P_{cv} : poids du creuset vide

P_e : poids de l'échantillon (espèce lichénique *Physcia biziana*)

3. Résultats et discussion

Les résultats sur l'accumulation spatio-temporelle des hydrocarbures totaux chez *Physcia biziana* sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau - Accumulation spatio temporelle des hydrocarbures totaux chez *Physcia biziana*

Période d'échantillonnage	Bio-accumulation des hydrocarbures totaux (p.p.m)					
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Témoin
21/12/2005	4250,30	5080,25	6125,05	8642,65	7015,10	205,10
18/01/2006	5660,35	6025,95	7211,05	10102,45	8961,55	138,25
19/02/2006	7520,15	7890,55	8389,95	11995,85	10524,05	121,3 5
20/03/2006	8050,35	9200,65	10010,75	13002,50	11269,25	132,65
19/04/2006	10110,20	11850,15	12120,15	16456,85	15895,60	165,4 0
21/05/2006	11200,50	13010,20	16685,55	19855,20	18520,35	182,75

Selon les données analytiques nous remarquons une nette variation des concentrations en hydrocarbures totaux dans les cinq sites par rapport à celui du site témoin. Cette variation est plus importante dans les cinq sites qui se trouvent à proximité de la source d'émission représentée par les axes routiers contrairement à celle du site témoin situé loin de toutes sources d'émanation d'hydrocarbures.

Leur présence dans les thalles du lichen dans le site témoin est de nature typiquement biogénique. Ils sont synthétisés lors du métabolisme du lichen et de certains végétaux supérieurs Bedeneau (1976), Ayadi (2002), Roux et coll. (2007). Cette variation de l'espace-temps accumulation d'hydrocarbures totaux à cette espèce met en évidence la notion de bio-accumulation, qui est défini comme la somme des absorptions d'un polluant par voie directe ou de la nourriture par les espèces animales et végétales aquatiques ou terrestres Ramade(1982). Les courbes de la figure 3, illustre bien cette variation spatio-temporelle des concentrations en hydrocarbures totaux chez *Physcia biziana* dans tous les sites d'étude. Elles présentent une grande similitude dans la variation progressive de la bioaccumulation des polluants hydrocarbonés au cours du temps. Elle est beaucoup moins accentuée durant les 03 premiers mois (21/12/2005 au 20/03/2006) est plus forte durant les deux derniers mois de l'échantillonnage (19/04/2006 au 21/05/2006). En effet, les trois premiers mois de l'échantillonnage ont coïncidé avec la saison d'hiver. Cette période humide est caractérisée par une forte pluviométrie et par la fréquence des vents assez importante. La pluviométrie serait d'une part à l'origine de l'épuration des hydrocarbures de l'atmosphère et d'autre part favorise le lessivage de tous les polluants du thalle des lichens. Le vent a joué un rôle de transport et de diffusion des polluants hydrocarbonés loin de la source d'émission. Les concentrations d'hydrocarbures totaux bio-accumulés durant les deux derniers mois correspondant à la saison printanière marquée par une pluviométrie et des vents relativement faibles et peu fréquents favorisant ainsi la stagnation et la saturation de l'air par les hydrocarbures totaux. Nous remarquons que les plus fortes accumulations des hydrocarbures totaux par *Physcia biziana* sont enregistrées dans les sites 4,5 et 3 soit une moyenne de 75 fois plus que celle du témoin tandis qu'elle est 50 fois plus pour les sites 1 et 2. Le taux d'accumulation des hydrocarbures totaux dans cette espèce est en étroite relation avec la distance qui sépare les sites d'échantillonnage de la source polluante et également de leur exposition par rapport à cette même source, représentée par les différents axes routiers.

4. Conclusion

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons conclure que l'espèce épiphyte corticole *Physcia biziana* est bioaccumulatrice de la pollution atmosphérique notamment celle des polluants hydrocarbonés.

Le taux d'accumulation des hydrocarbures totaux dans cette espèce est en étroite relation avec la distance qui sépare les sites d'échantillonnage de la source polluante représentée par les différents axes routiers. Les concentrations variables d'hydrocarbures bio-accumulées par cette espèce corticole épiphyte, sont probablement dues, d'une part aux facteurs intrinsèques propres à l'espèce étudiée (pouvoir accumulateur de *Physcia biziana*), et d'autre part, aux facteurs

extrinsèques d'ordre climatiques et topographiques (pluviométrie et positionnement des sites d'échantillonnage).

Références

- 1- Anonyme., (1994) - Monographie et environnement de la wilaya de Skikda, 186 p.
- 2- Ammari R., (2004) - Bioindication de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures totaux de la zone urbaine de Skikda et sa périphérie à l'aide d'une espèce lichénique *Physcia biziana*. Mém. Ing. Etat Ecologie, Univ. Annaba, 41p.
- 3- Asta J., Garrec J.P. (1980) - Etude de l'accumulation du fluor dans les lichens d'une vallée alpine polluée. Environ. Séries A, [21], 267-286.
- 4- Ayadi F., (2002) - Bioindication spatio-temporelle de la pollution par les hydrocarbures de la zone pétrochimique de Skikda à l'aide d'une espèce lichénique épiphyte le *Xanthoria parietina*. Mém. Ing. Etat Ecologie, Univ. Annaba, 36p.
- 5- Deruelle S. (1983) - Ecologie des lichens du Bassin Parisien. Impact de la pollution atmosphérique (engrais, SO₂, Pb) et relations avec les facteurs climatiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Université P. et M. Curie, Paris, 300 p.
- 6- Djebien I., (2002) - Bioindication de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures totaux de la zone urbaine de Skikda et sa périphérie à l'aide de transplants lichéniques. Mém. Ing. Etat Ecologie, Univ. Annaba, 34 p.
- 7- Fadel D; Boughambouz I; Laïfa A & Djemäi R; (2007) - Bioindication the air pollution by total hydrocarbons by using a lichenic specie in the area of Skikda – Algeria. Physical & Chemical News; Vol. 34 Mars 2007; p. 126-130
- 8- Lebrun P., (1990) - L'usage de bio-indicateurs dans le diagnostic sur la qualité du milieu de vie. In: Journées d'étude de l'A.F.I.E – Ecologie appliquée - indicateurs biologiques et techniques d'études. p. 167-174
- 9- Semadi A., (1983) - Incidence de la pollution fluorée d'origine industrielle sur la végétation de la région de Annaba-Algérie, Thèse de Doct. Ing., Univ. Paris VII, 79 p.
- 10- Semadi A., (1989) - Effets de la pollution atmosphérique sur la végétation dans la région de Annaba [Algérie], Thèse de Doctorat d'Etat. Univ. P et M.C.ParisVI, 339 p.
- 11- Semadi A., Tahar A., Fadel D & Benoit-Guyod J.L; (1997) - The behaviour of some lichen species in Annaba area (Algeria). Rev. Synt. N°2 Juin; p 17-24.
- 12- Trass H., (1973) - Lichen sensitivity to the air pollution and index of poleotolerance [I.P]. Fol. Crypt. Est., Tartu, [3]19-22.
- 13- Van Haluwyn C., Lerond M., (1986) - Les lichens et la qualité de l'air. Evaluation méthodologique et limites. Rapport final du Ministère de l'Environnement [S.R.E.T.I.E], 213 p.
- 14- Bedeneau M. (1976) – Les lichens indicateurs biologiques de pollution. Etude bibliographique, C.R.F – I.N.R.A, orléans, 1- 16.
- 15- Ramade F., (1979) - Ecotoxicologie. Collection d'écologie, 2^{ème} Ed. Masson, Paris,
- 16- Ramade F. (1982) – Elément d'écologie appliquée. Ed.MC Graw Hill, 50, 92 - 93, 452 p.
- 17- Roux C., Coste C., Bricaud O. & Masson D., (2007) - Lichens et champignons lichénicoles du parc national des Cévennes (France). 4 - Le massif de l'Aigoual. Bull. Soc. linn. Provence, 58 : 103-125.

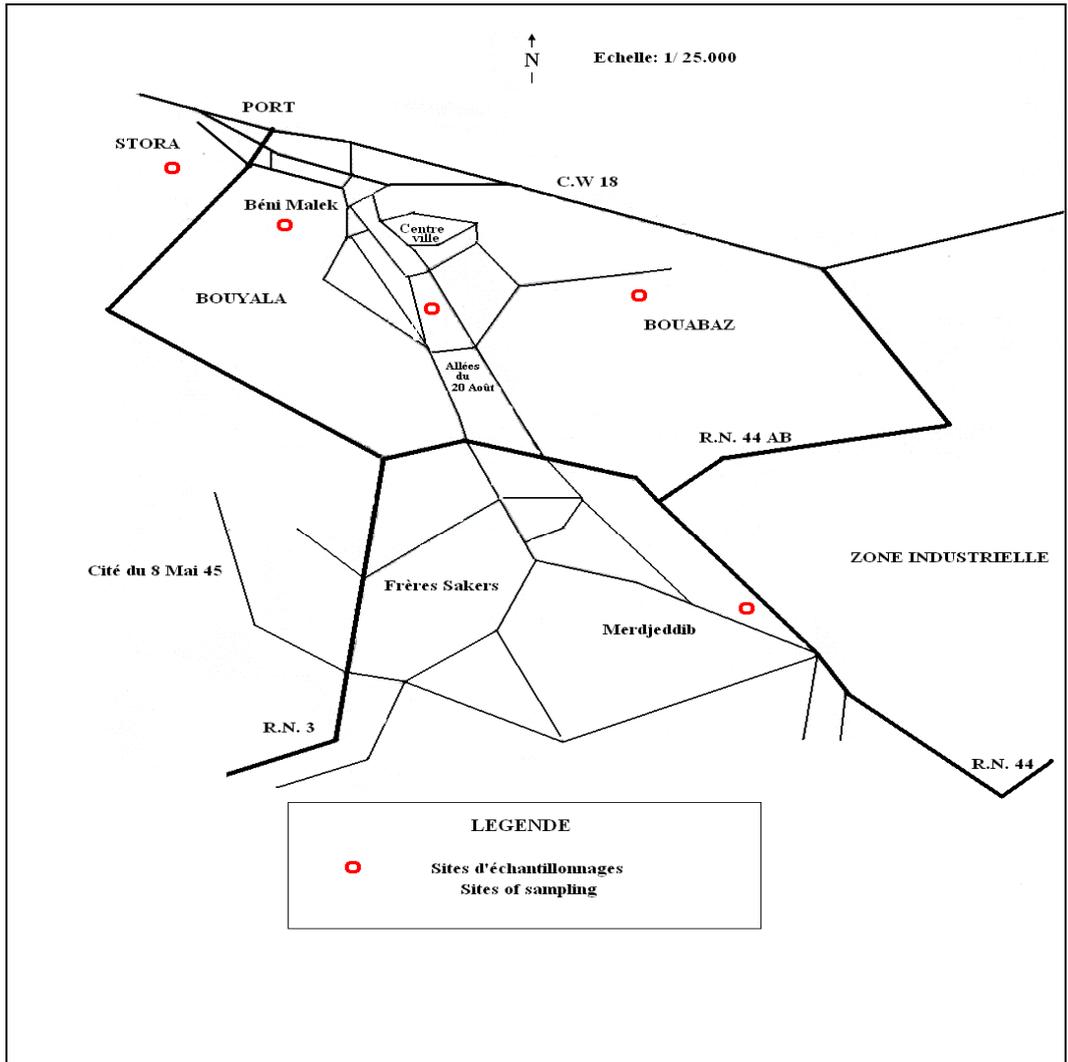


Figure 1. – Sites d'échantillonnage de la zone d'étude.

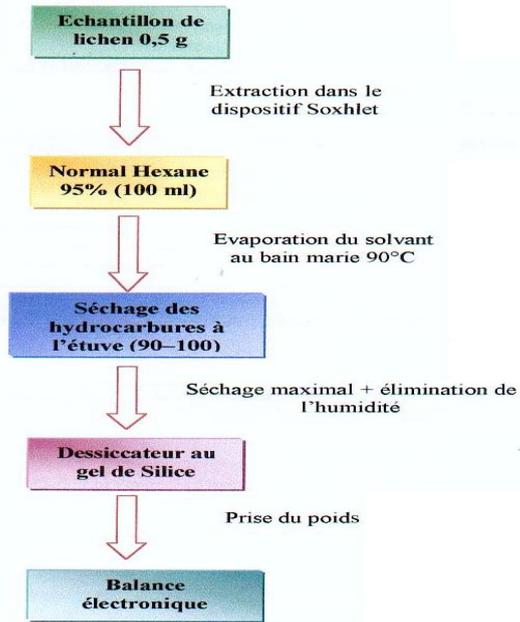


Figure 2. Procédure expérimentale

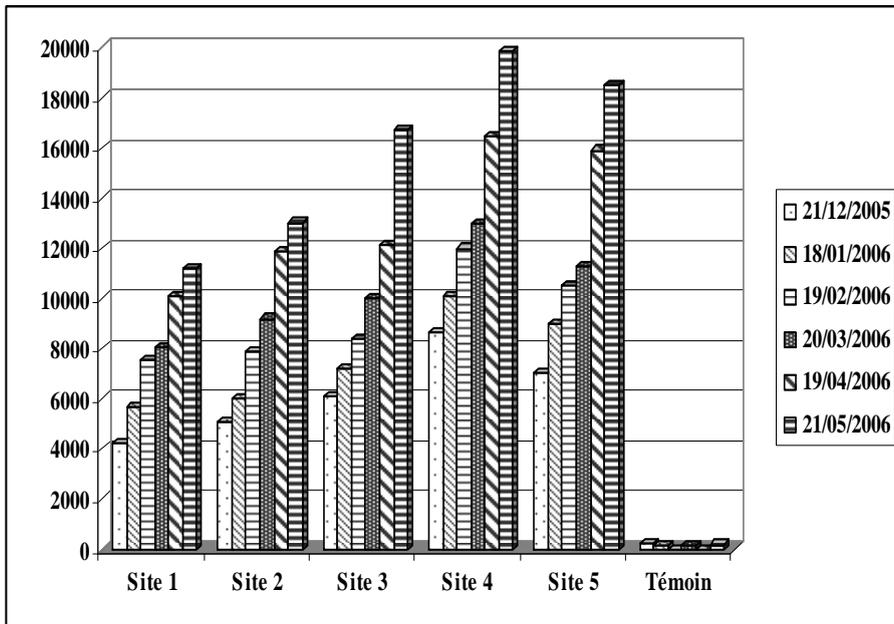


Figure 3 : Bioaccumulation spatio-temporelle des hydrocarbures totaux par *Physcia biziana*.

Construction de routes, transports et impacts sur la santé dans la zone soudano sahélienne de l'Afrique

Poda J.N.*, Dianou D*., Zongo D.* et Sondo K.B*

* IRSS/CNRST B.P.7047 Ouagadougou Burkina Faso

Résumé

Dans l'atteinte des 8 Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) deux d'entre eux sont (i) de réduire de moitié la proportion des femmes et hommes n'ayant pas accès à l'eau potable (1,2 milliards de personnes) et à l'assainissement de base (2,4 milliards de personnes). Dans ce contexte de la rareté des plans d'eau de surface, chaque barrage de route, chaque réservoir né des emprunts terre pour la construction de route sont souvent entretenus par les populations riveraines pour les usages domestiques, l'abreuvement du bétail et quelques fois la réalisation des cultures de contre saison si la collection d'eau est importante. Comme il apparaît dans une recommandation du Sommet Mondial de l'Alimentation (Rome, novembre 1996) «L'eau doit être reconnue comme un bien précieux et rare, les précipitations doivent être recueillies, et toutes les ressources hydriques doivent être aménagées de façon efficace...».

*Ces barrages de routes et mares mêmes temporaires n'ont pas que des bienfaits ; ils favorisent l'installation d'une faune aquatique adaptée à ces types de milieux précaires. Outre les cyclops hôtes intermédiaires de *Dracuncula medinensis* responsable du ver de Guinée, on y trouve des mollusques pulmonés hôtes intermédiaires des parasites des schistosomoses ou bilharziose. Le développement de la faune entomologique pendant la période de mise en eau augmente aussi les risques de transmission du paludisme par l'anophèle, de la fièvre jaune par aèdes, et de filariose lymphatique par anophèle, culex et aèdes. Ces mares servent aussi de piscines pour les enfants et constituent des sites privilégiés de transmission parasitaire des maladies de la peau et des yeux, elles servent enfin dans les ménages pour les activités domestiques et malheureusement pour l'eau de boisson entraînant les maladies diarrhéiques. Le flux des agents pathogènes à travers le transport des voyageurs et des marchandises sont aussi à l'origine de la transmission de maladies contagieuses si les mesures de prévention dont la vaccination ne sont pas prises.*

Ainsi, si la disponibilité en eau à travers les mares et barrages de routes a permis dans certains cas de faire face à divers usages utilitaires en plus du rôle éminemment important de la route, elle a par contre entraîné autour de ces sites,

la progression de multiples maladies liées à l'eau, ce qui amoindrit ainsi le bénéfice attendu de ces ouvrages. Un tel impact de la route est très peu documenté non seulement à cause du manque d'évaluation mais surtout de la marginalisation du phénomène par manque de données sur les conséquences sanitaires.

Mots clés : Route, Emprunt de terre, réservoirs, transports, impacts, santé.

1. Introduction

Le développement des infrastructures en particulier les routes offre la possibilité de réduire l'isolation et le manque d'accès aux services essentiels dont beaucoup de populations surtout rurales souffrent, il participe de l'amélioration du bien-être humain et des opportunités économiques. Selon PNUE - CMAE (2006) il peut provoquer des résultats positifs ou négatifs de grande importance. L'extrême variabilité des précipitations en Afrique, tant sur la plan temporel que spatial, se reflète dans la répartition inégale des ressources en eaux de surface et souterraines, depuis des zones de forte aridité dont les ressources en eau douce sont limitées, comme les déserts du Sahara et du Kalahari au nord et au sud, jusqu'à la ceinture intertropicale de l'Afrique qui dispose de ressources abondantes en eau douce. Les changements climatiques, la croissance démographique et la plus grande demande en eau, la surexploitation et la dégradation de l'environnement continueront à l'aggravation de l'état des systèmes d'eau douce. Selon le rapport du PNUE - CMAE (2006) en 2000, les Nations Unies notaient que la consommation mondiale d'eau douce a été multipliée par six entre 1900 et 1995, plus de deux fois le taux de croissance démographique; environ un tiers de la population mondiale habite déjà dans des pays considérés comme souffrant de manque d'eau, autrement dit leur consommation dépasse l'offre de 10 pour cent. Si les tendances actuelles restent inchangées, deux personnes sur trois dans le monde seront dans cette situation d'ici 2005.

Dans ce contexte de la rareté des plans d'eau de surface, chaque barrage de route, chaque réservoir né des emprunts de terre pour la construction de route sont souvent entretenus par les populations riveraines pour les usages domestiques, l'abreuvement du bétail et quelques fois la réalisation des cultures de contre saison si la collection d'eau est importante. Comme il apparaît dans une recommandation du Sommet Mondial de l'Alimentation (Rome, novembre 1996) «L'eau doit être reconnue comme un bien précieux et rare, les précipitations doivent être recueillies, et toutes les ressources hydriques doivent être aménagées de façon efficace...».

Ces barrages de routes et mares mêmes temporaires n'ont pas que des bienfaits ; ils favorisent l'installation d'une faune aquatique adaptée à ces types de milieux permanents ou précaires et une grande variété de faune vectrices et/ou hôtes

intermédiaires de pathologies. Le route est enfin la voie de circulation des microbes à travers les transports des personnes et des marchandises. Les modifications de l'environnement et des établissements humains par les infrastructures routières sont des changements importants ou permanents de l'environnement qui ont donc pour but de prévenir, d'éliminer ou de réduire les habitats des vecteurs s'ils n'en créent pas d'autres biotopes à grand risque sanitaire, ils doivent être utilisés et entretenus correctement.

Une conception soignée des projets routiers en rapport avec le développement des ressources en eau devrait contribuer à maintenir une densité peu élevée des espèces importantes de vecteurs et d'hôtes intermédiaires et à réduire le contact des êtres humains avec les vecteurs et avec les eaux infestées (Becket et Collignon.1998). La forte circulation des personnes et des biens de consommation par les transports, la multiplication des retenues d'eau par la route, la diversification des activités liées à l'eau le long des axes routiers, le mauvais drainage des eaux usées ont aussi des conséquences sur la santé souvent mal évaluées. Il convient d'en rechercher le poids des facteurs de santé liés à la route afin de prendre les mesures de contrôle appropriées.

2. Matériel et Méthode

L'analyse des questions posées a nécessité la recherche systématique des informations pertinentes dans les résultats des travaux antérieurs qui se rapportent aux routes et aux transports en relations avec les biotopes (barrages routiers, drainage des eaux), les vecteurs et hôtes intermédiaires responsables des maladies au niveau des sites créés par les routes, ceci complétés par la documentation et des visites de terrain. Les grands domaines retenus concernent les pathologies et leur évolution le long des routes. Les cas particuliers des zones sensibles comme les barrages de routes, les maladies liées aux vaccinations ont retenu notre attention (Aubert 1983, Desjeux 1985, Hughes et Hunter 1970, Mouchet et Carnevalle 1997, OMS, 1979, 1984, 1985a, 1985b, 1993, 1998a, 1998b, PNUE - CMAE – 2006, Poda 1996a, Poda 1996b).

La revue documentaire a été guidée par une grille de lecture. La littérature disponible localement a été collectée et appréciée en mettant en évidence les études et travaux les plus marquants sur les maladies liées aux routes et aux transports. Les données ont été appréciées d'une part selon les principales pathologies humaines et animales liées aux écosystèmes influencés par la route et d'autres part selon les flux des agents pathogènes occasionnés par les transports (paludisme, bilharzioses, Dracunculose ou Ver de Guinée, onchocercose, facial oses, filariose, trypanosomiasés, diarrhées, fièvre jaune, cholera, méningite etc.).

L'analyse a été approfondie et orientée par des entretiens avec des observateurs qualifiés et représentatifs des services publics et privés qui travaillent sur les routes et les transports.

3. Route, biotopes et vecteurs de maladies

Les bassins hydrographiques africains sont des complexes de milieux aquatiques d'eau douce variés tant du point de vue climatique (désertique, tropicale, équatoriale), écologique (forêt, savane et Sahara), physique (milieux d'eau stagnante, courante), chimique (température, teneurs en ions et minéraux) que du point de vue humain (fortes et faibles peuplements humains, différents niveaux de développement économique). Dans ce contexte, la construction de routes à travers plusieurs bassins hydrographiques modifie la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et partant de la faune.

Parmi les vecteurs de maladies liés à cette diversité de milieux aquatiques, climatiques et humains se trouvent les diptères et particulièrement les Culicidae ou moustiques qui sont les plus importants non seulement par le nombre d'espèces qu'elle contient, mais surtout par son importance en santé humaine et animale (Ann O'Fel, 1987). Trois genres (Anophèles, Aedex et Culex) possèdent l'essentiel des espèces vectrices des maladies liées à l'eau. *Anophèles funestus* et *A. gambiae* transmettent le paludisme, la filariose de Bancroft, *Aedex aegypti* transmet la fièvre jaune. Outre les Culicidae, on retrouve les glossines en particulier *Glossina palpalis* responsable de la trypanosomiase humaine et les Simuliidae dont le complexe *Simulium damnosum* est vecteur de l'onchocercose. A côté des insectes, on retrouve les mollusques pulmonés dont deux genres *Bulinus* et *Biomphalaria* transmettent les schistosomoses urinaire pour le premier et intestinale pour le second. Au bas de l'échelle on trouve les crustacés en particulier les cyclopidés qui transmettent le ver de Guinée ou dracunculose; des parasites, bactéries et virus sont responsables de différentes formes de diarrhées.

Dans ce contexte, le profil épidémiologique le long des routes est un entrelacement de facteurs environnementaux et l'eau en tant milieu de propagation des parasites et leurs vecteurs, est bien au centre des différentes pathologies. La carte des maladies liées à l'eau est alors calqué sur celle du réseau hydrographique (eau courante et stagnante, temporaire et permanente) et l'aire de développement des maladies liées à l'eau coïncide donc avec des milieux aquatiques géographiquement déterminés. Epidémiologie et hydrographie sont ainsi intimement liées et l'incidence de nombreuses maladies vectorielles et s'atténuent avec l'éloignement des points d'eau. Cependant, les maladies liées à l'eau en Afrique sont largement influencées par son climat, son hydrographie, sa population qui enregistre des flux migratoires importants des agents pathogènes à cause des transports des personnes et des marchandises par la route. L'accroissement rapide de la population, la multiplication des retenues d'eau, la diversité des activités liées à l'eau, les mauvaises conditions de drainage des eaux usées ont des conséquences sur la santé de la population.

Les données des recherches hydro biologiques entreprises entre 1984 et 1994 (Poda, 1996a, 1996b) ont été exploitées. Au total 296 biotopes liés aux routes ont été identifiés, ciblés et classés. Les résultats de cette typologie permettent de classer.

- Les marigots et les cours d'eau influencés par les routes par le renforcement et l'accélération des débits, la prolifération des simulies dans le lit des rivières et des glossines dans les galeries le long des cours d'eau,
- Les barrages de route d'eau pérenne ou sub-pérenne et,
- Les mares créés avec l'extraction de la terre le long des routes. Les barrages et mares sont favorables aux autres vecteurs des milieux stagnants permanents et temporaires (Anophèles, Aedex, Culex, mollusques, cyclops).

4. Biotopes liés aux routes et pathologies

Les maladies liées à l'eau en particulier les parasitoses forment des complexes pathogènes dont les différents éléments sont l'homme, l'agent causal et son vecteur ou hôte intermédiaire et chaque élément est soumis aux contraintes du milieu aquatique. Or, la route réunit sur son parcours plusieurs types de biotopes. Ainsi le long des routes se juxtaposent des systèmes aquatiques permanent d'eau stagnante, courante et des systèmes aquatiques temporaires. La route crée les cadres de nouvelles activités liées à l'eau et offrent des conditions propices au contact de l'homme - eau - parasite. Dans ces conditions la route peut influencer sur la situation épidémiologique :

- par le développement de nouvelles souches de parasites dont les voyageurs sont porteurs, soit par la prolifération de nouveaux vecteurs adaptés aux nouvelles situations écologiques créées par la route,
- par les flux parasitaires des agents pathogènes
- par la faible immunité des voyageurs vis-à-vis des agents pathogènes locaux
- par le manque d'observation des règles de transport de marchandises.

Les risques des maladies liées à l'eau par la manipulation de l'eau et des biotopes, ont été permanents. Les plans d'eau naturels ou anthropiques (barrages et mares liés aux routes) en tant que facteur favorisant le complexe pathogène, mettent en relation le parasite, le vecteur ou l'hôte intermédiaire et les personnes réceptives.

Sur la trentaine de maladies liées à l'eau, celles transmises par les vecteurs sont le plus souvent induites par les biotopes créés ou favorisés par l'eau, la route et le transport. Il y a une première catégorie de maladies d'origine hydrique transportées par l'eau et qui sont dues au manque d'eau potable (Feachem et *al*

1980, Birley 1993); c'est le cas des maladies causées par la consommation de l'eau sale par les voyageurs le long des routes, dans les gares. En zone soudano sahélienne, les mares issues de l'extraction de terre pour la confection des routes sont entretenues par les populations riveraines pour des besoins domestiques. Ces maladies sont les diarrhées, la fièvre typhoïde, la dracunculose, elles sont importantes tant par le nombre de malades (morbidity) que par le nombre de décès (mortalité). On peut à long terme lutter contre ces maladies en combinant l'éducation pour la santé, l'approvisionnement en eau potable et l'hygiène. La deuxième catégorie de maladies est dépendante de parasites et des vecteurs liés aux écosystèmes aquatiques le long des routes. Ce sont le paludisme, la bilharziose, la filariose lymphatique, et l'ensemble. Il y a enfin les microbes surtout les virus objet de flux parasitaires des voyageurs, ce sont l'ensemble des maladies contagieuses (méningites, les IST). Ces deux dernières catégories ont été signalées comme étant les plus importantes (Tiffen, 1993) étant données que :

- elles causent la mort et/ou des infirmités graves,
- elles touchent une grande partie de la population des zones à risque,
- elles sont particulièrement difficiles à combattre une fois qu'elles sont largement répandues ou qu'elles sont endémiques,
- elles peuvent donner lieu, pendant longtemps à un mauvais état de santé.

Sur le plan de l'impact sur la santé, en Afrique subsaharienne, le paludisme est la première cause de consultation, de morbidité (11%) et de mortalité infantile-juvénile (20%), les diarrhées viennent en second en morbidité (10%). Les maladies causées par le flux parasitaires (gripes virales, choléra, méningites) sont régulièrement signalées. Ces pathologies représentent un lourd tribut pour le capital humain, un accroissement de la pression sur les revenus des ménages et freinent le développement économique des pays africains. Pourtant les maladies liées aux routes et aux transports si elles ne sont pas évitables, peuvent être contenues dans des limites acceptables. Mais les progrès sont freinés à la fois par les obstacles économiques, surtout en Afrique et par les changements environnementaux. (Mouchet, Brengues 1990, Mouchet et Carnevale 1997)-

5. Routes, transports et flux des agents pathogènes

C'est par le vecteur et/ou hôte intermédiaire et le microbe qui lui est lié puis les transports que les agents pathogènes voyagent par les personnes et les marchandises et que les risques sanitaires sont aggravés. Ainsi, le commerce international a introduit le moustique tigre asiatique, porteur de la fièvre dengue, sur le continent américain et africain. L'augmentation de l'exposition aux maladies à vecteurs comme le paludisme, la fièvre dengue est parfois associées aux transports (PNUE - CMAE – 2006). Le commerce a également répandu diverses

bactéries nuisibles à la santé, dans les exportations de viande (PNUE - CMAE – 2006).

Le cas particulier des migrations et des voyages par la route ne sont pas à sous estimer. Sur ce dernier aspect, la forte demande en déplacement des populations et des marchandises crée des conditions favorables pour le développement de maladies surtout contagieuses, cette situation est particulièrement frappante au sein des populations pauvres des zones de transit où s'établissent généralement les voyageurs dont la résistance contre les parasites locaux est assez faible dans les premières années d'installation. Les maladies tropicales fortement contagieuses (méningites, cholera, fièvre jaune) font l'objet de surveillance par les services de sante aux frontières..

6. Routes, outil d'amélioration du cadre de vie

En dehors de tout aménagement routier, les milieux aquatiques sont le siège des parasitoses liées à l'eau. La route peut amplifier les risques mais il est surtout un outil d'atténuation des risques sanitaires si l'intégration des mesures proposées (drainage des eaux, remblais des mares) permet de prévenir la création de gîtes. Les documents (OMS 1985b, 1998b ; Savonnet-Guyot et *al*, 1985) décrivent les nombreuses techniques existantes. Il existe bon nombre de publications qui passent en revue la conception et l'utilisation les plus appropriées de systèmes d'approvisionnement en eau et d'aménagement des conditions sanitaires.

Certaines méthodes pour l'aménagement des routes ne peuvent être choisies que pendant la phase de conception. Ceci s'applique, entre autres, au choix des structures de contrôle des canaux, à l'emplacement et à la distribution des nouveaux établissements humains. Des choix pertinents à ce stade peuvent réduire les coûts visant à maintenir des niveaux acceptables en matière de santé lors de la phase opérationnelle.

Ces mesures de lutte par l'aménagement seront complétées par d'autres formes, dont certains sont complémentaires. Il est possible de distinguer trois types de mesures :

- -les mesures liées aux agent pathogènes (immunisation; utilisation de médicaments à des fins prophylactiques ou curatives) ;
- -les mesures destinées à réduire la densité des vecteurs ou leur durée de vie afin d'interrompre ou de réduire la transmission (lutte par des moyens chimiques, biologiques ou par action sur l'environnement) ;
- -les mesures destinées à réduire les contact homme/ vecteurs ou homme/agents pathogènes : éducation en matière de santé, mesures de protection personnelle et protection des logements contre les moustiques.

La prévention des contacts humains avec des vecteurs ou des eaux infectées doit être assurée grâce à l'éducation, à la construction de clôtures et de ponts, à un choix adéquat des établissements humains et de leur emplacement, à l'approvisionnement en eau potable, à un bon système d'élimination des déchets et à des changements dans les activités économiques traditionnelles.

Dans la lutte contre la circulation des agents pathogènes contaminants, il est possible de distinguer entre:

- la réduction de la circulation des microbes infectieux par la vaccination et l'hygiène des voyageurs,
- l'observation de la réglementation de la circulation des marchandises en particulier celles destinées à la consommation humaine.

Ainsi la probabilité d'introduire une ou plusieurs maladies liées aux routes ou d'en augmenter l'impact, sera plus réduite. Quant aux transports, l'installation de nouveaux voyageurs vers d'autres sites ou le retour des résidents entraîne une augmentation de la densité démographique. Des personnes non immunisées peuvent se trouver en contact avec de nouvelles maladies ou peuvent introduire de nouvelles sources d'infection ; d'autre part, de nouveaux établissements humains à forte densité peuvent faciliter la transmission de la maladie. La vaccination et l'hygiène de l'eau et des aliments dans les gares et les points de regroupements amoindrissent les risques de circulation et de propagation des agents pathogènes. (Birley, 1993 ; Tiffen, 1993)

7. Conclusion

Il ne s'agit donc pas de remettre en cause la légitimité de la route, encore moins d'opposer les spécialistes de la route à ceux de la santé, mais de convaincre les différents partenaires impliqués dans ce type de développement routier qu'il est essentiel d'assurer une gestion intégrée de la route en relation avec les établissements humains. Au total, les aménagements routiers sont des changements importants ou permanents de l'environnement qui ont donc pour but de prévenir, d'éliminer ou de réduire les habitats des vecteurs. Bien que destinés à durer, ces ouvrages doivent être utilisés et entretenus correctement.

Il faut donc repenser le développement, pour cela tous les acteurs sont confrontés à un dilemme: mettre en balance l'éventuelle détérioration des conditions sanitaires d'une part et les avantages incontestés de la route. Comme le démontre l'impact du paludisme et plus récemment de la grippe aviaire, la mauvaise santé s'accompagne d'un coût économique et contribue à accroître la pauvreté. Si l'évaluation de l'impact de la route sur l'environnement et la santé va de pair avec l'analyse économique, les projets routiers auront certainement un effet moins négatif sur la santé (Hunter et al, 1994). En 1982, l'Association Internationale de Limnologie avec l'appui du Programme des Nations Unies pour l'Environnement

(PNUE) a recommandé qu'un certain pourcentage (0,1 % ou plus) du coût total des barrages soit réservé à financer la recherche de solutions aux problèmes créés par ces barrages (Symoens et al1982)..

Dans le domaine des routes et des transports en Afrique, il se dessine la nécessité d'une approche intégrée, prenant en compte les éléments de la route et des transports, les méthodes de contrôles des maladies soutenues par une recherche opérationnelle à long terme, dotée de moyens conséquents. Cette démarche permettrait de prendre les maladies liées aux routes et aux transport dans leur globalité dans le cadre d'une écologie des paysages africains.

Bibliographie

- 1- Ann O'Fel (1987) - Parasitologie, mycologie et fongiques. 3ème Ed. C. et R. 369 pages
- 2- Aubert C. (1983)- Onze questions clés sur l'Agriculture, l'Alimentation, la Santé, le Tiers-Monde. Paris: Terre Vivante, 1983; 218 p.
- 3- Becket C. et Collignon R. (1998) - Epidémies et médecine coloniale en Afrique de l'Ouest. Cahiers Santé 1998 ;8 : 411-416
- 4- Birley M. (1993)- Lignes directrices pour prévoir les implications pour les maladies transmises par vecteurs du développement des ressources en eau. Series de lignes directrices TEAE 2 WHO/CWS/91.3 107 pages + annexes
- 5- Desjeux D. (1985)- L'eau. Quels enjeux pour les sociétés rurales ? Paris: L'Harmattan, 1985; 220
- 6- Donnelly M. (2004) – Le Paludisme urbain au Ghana ; Communication au Centenaire de l'Ecole du Pharo. Marseille 2005 multig. :13 p.
- 7- Feachem R., Bradley D., Garelick H. and Mara D.D. (1980), Health aspects of excreta and sullage management. Appropriate Technology for Water Supply and sanitation Series, World Bank, Washington D.C.
- 8- Hughes C.C. et Hunter J.M. (1970) Diseases and « development » in Africa. Social science and medicine,3 : 443-493.
- 9- Hunter J.M., Rey L., Chu K.Y., Adekolu-John E.O. Mott K.E.- (1994)- Parasitoses et mise en valeur des ressources hydriques. Un impératif: la négociation intersectorielle. OMS Genève 1994. 159 pp
- 10- Mouchet J., Brengues J. (1990) Les interfaces Agriculture-Santé dans les domaines de l'épidémiologie des maladies à vecteurs et de la lutte antivectorielle. Bull. Soc. Path. Ex. 1990 ; 83, 376-393.
- 11- Mouchet J. et Carnevale P. (1997)- Impact des transformations de l'environnement sur les maladies à transmission vectorielle Cahiers santé 1997 ;7 : 263-269
- 12- OMS (1979). - Atelier sur le rôle des contacts homme/eau dans la transmission de la schistosomiase. IDR/SER - HWC/79.3.
- 13- OMS, (1984) – Filariose lymphatique. Série de rapports techniques N° 702 ; 129 pages
- 14- OMS, (1985a) – Dix années de lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest ; OCP/GVA/85.1A 137 pages
- 15- OMS (1985b) - Lutte contre la schistosomiase. Ser. rap. tech. N 728.

- 16- OMS, (1993)a – Mise en œuvre de la stratégie mondiale de lutte antipaludique ; Série de rapports techniques N°839; 67 pages
- 17- OMS, (1998a) La trypanosomiase africaine : lutte et surveillance : Serie de rapports Techniques 881, 123 pages
- 18- OMS (1998b)- Rapport de la consultation informelle de l’OMS sur la lutte contre la schistosomiase WHO/CDS/CPC/SIP/99 .2 65 pages
- 19- PNUE - CMAE (2006) L’Avenir de l’Environnement en Afrique (AEO2) : notre environnement, notre richesse 542 pages.
- 20- Poda J. N.,(1996a) - Typologie des biotopes des hôtes intermédiaires potentiels des schistosomes au Burkina Faso. Annales de l’université du Bénin (Lomé, Togo) Série Sciences, Tome XII, 1996, pp. 71-84.
- 21- Poda J.N - (1996b) : Distribution spatiale des hôtes intermédiaires des schistosomes au Burkina Faso : Facteurs influençant la dynamique de *Bulinus truncatus* rohlfsi Clessin, 1886 et de *Bulinus senegalensis* Muller, 1781. mémoire de thèse de Doctorat d’Etat ès sciences biologiques appliquées FAST/Université de Ouagadougou, 214pp
- 22- Savonnet-Guyot C., Conac F., Conac G. (1985)- Les politiques de l'eau en Afrique. Développement agricole et participation paysanne. Paris: Economica, 1985; 767 p.
- 23- Symoens J.J., Burgis M., Gaudet J.J. (1982). - Ecologie et utilisation des eaux continentales africaines. Sér. Tech. du PNUE 1 , 212p.
- 24- Tiffen M. (1993)- Lignes directrices pour l’incorporation de mesures de protection de la santé dans les projets d’irrigation par la coopération intersectorielle. Series de lignes directrices TEAE 1 ; WHO/CWS/91.2 85 pages.

Experimental analysis of the acoustical screen effect of jet blast deflectors during jet engine ground run-ups

Mohamed Bouadjelane *

*Univ. Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université de Mostaganem 27000
Mostaganem, Algérie **E-mail :** bouadjelane@yahoo.fr

Résumé

Une étude préliminaire pour la conception aérodynamique d'un déflecteur de gaz d'échappement des jets de turboréacteurs d'avions pour le compte de l'USAF Aéroport de Ramstein RFA, nous a conduit à étudier, dans quelle mesure le déflecteur pourrait-il agir comme écran sonore pour protéger l'entourage des nuisances sonores durant les essais? Une analyse, basée sur les mesures du champ acoustique (niveaux de pression acoustique) derrière le modèle réduit de déflecteurs, a été faite dans la salle anéchoïque. Les déflecteurs avaient principalement deux formes : mur plein, et ceux construits par un ensemble d'aubes à courbure cylindrique. Un jet d'air froid a été utilisé pour étudier les aspects acoustiques, notamment l'effet écran produit par le déflecteur pour ce qui est du bruit produit avant celui-ci, et le bruit produit par l'écoulement lui-même lorsqu'il contourne le déflecteur.

Les murs pleins, présentant une déflexion, pas aussi bonne que celle des déflecteurs à aubes, se sont avérés meilleurs sur le plan de l'effet écran produit pour ce qui est du bruit produit par le jet l'aval du déflecteur. Tous les déflecteurs sont toutefois des sources de bruit additionnel puisque un bruit à caractères de dipôles se produit par l'interaction écoulement déflecteurs.

Mots-clés : *Déflecteurs de gaz, bruit de jets de moteurs d'avion, effet écran acoustique, dipôle quadripôle, niveau sonore, zone d'ombre, enceintes d'essais, bruit de turboréacteurs.*

1. Introduction

To tackle the noise propagation at ground run up installations during jet engine tests, we have to consider two main aspects: the noise generation sources, their interactions and their extent and the aspect of screen effect by barriers used reduce sound at listener point. The noise sources are the craft engines, the free jet and boundary layer and the interaction flow-deflector as it can be seen in fig.1.

The type of deflector plays an important role since its shape influences the noise generation locally. Figure 2 shows how the flow experiences a direction change

as it passes by the deflector. An undesired side flow can be observed when a straight wall is used as a deflector. The blade fence presents many edges which interact with the flow producing leading and trailing edge noise.

In the following first section we present the aspect diffraction and the screen effect explaining the noise propagation when boundaries are present, interrupting the direct way: noise source – observer. We then review briefly the noise sources generated aerodynamically and the laws governing them in section two. We will end the presentation by showing the measurement results and a conclusion.

2. Diffraction and screen effect

If we consider just the engine as a noise source S, the deflector can act as a noise barrier for an observer O in the shadow zone (fig. 3).

The noise sources at the engine are: The fan, the compressor, the turbine and the combustion chamber. Each engine has its own directivity spectrum (see fig. 4).

The sound pressure level (SPL) at observer O in the shadow zone is diminished according to Z. Maekawa (1968) by approximately ΔL_p :

$$\Delta L_p = 10 \cdot \text{Log}(3 + 20N). \quad \text{with } N = 2z/\lambda = 2z \cdot f / a_0 \quad \text{and } z = (rs + ro - s - o) \quad (1)$$

Figure 5 shows the attenuation of the sound pressure level spectrum when a straight deflector, and when a blade deflector are set between the observer and the noise source. The calculated estimation according to Maekawa is also plotted in the chart.

We can see that the attenuation of the blade deflector is very small even at high frequencies and has almost no screen effect. The straight wall allows no direct way from the source and the observer, and presents the best screen effect. The estimation according to Maekawa as well as of other authors reflects the increase of attenuation with increasing frequency, but big differences remain compared to measured values.

3. The aerodynamic noise sources

Since the jet blast flow is a second noise source, one must take into account also its interaction with the existing boundaries and especially the deflector itself. The free jet noise is produced in the mixing layer (figure 6a), and has a quadrupole character. The noise intensity composed by the shear and the self noises varies as follows:

$$I^{seN}(x, \theta / \mathbf{y}) = \frac{3\sqrt{2}\rho_0 L_1^3 \cdot \frac{2}{3} \overline{k}^2}{4\pi^2 a_0^5 x^2} \omega_f^4 \frac{D_i^{seN}}{d_p} \quad ; \quad I^{shN}(x, \theta / \mathbf{y}) = \frac{3}{8} \frac{\rho_0 L_1^5 \cdot \frac{2}{3} \overline{k}}{\pi^3 a_0^5 x^2} \left(\frac{\partial U_1}{\partial y_2} \right)^2 \omega_f^4 \frac{D_i^{shN}}{d_p} \quad (2)$$

$$I(x, \theta / \mathbf{y}) = I^{seN}(x, \theta / \mathbf{y}) + I^{shN}(x, \theta / \mathbf{y}) \quad (3)$$

The spectral density of the sound pressure at an observation point x can be written as a function of the Strouhal number St , the directivity θ as follows:

$$\begin{aligned} \overline{p_*^2(x, \theta / \mathbf{y}, St)} &= \rho_0^2 \frac{U_J^4}{D^3} M_J^4 \cdot K(St, \theta / \mathbf{y}, x) = \\ &= \rho_0^2 \frac{U_J^4}{D^3} M_J^4 \cdot \left[\frac{A^{seN} D_i^{seN}}{\text{Re}_j d_p} + \frac{A^{shN} \text{Re}_j D_i^{shN}}{d_p} \right] (St, \theta / \mathbf{y}, x) \end{aligned} \quad (4)$$

The presence of solid boundaries within the flow is a source of additional noise. This noise depends on the local Mach number and velocity as well as of the geometry of the solid boundary.

The spectral pressure density of the sound produced by blade like boundaries within the flow depends on the chord S , see W. K. Blake. Two cases can occur:

A: $f \cdot S / a_0 \ll 1$ the sound produced behaves as a compact dipole. Its spectral pressure density is given in the following form:

$$\overline{p^2(x, \omega)} = \frac{1}{4\pi^2} \left[\frac{1}{2} \rho_0 U_\infty^2 \right] M_\infty^2 \left[\frac{L_f}{r} \right]^2 \left[\frac{\omega S}{2U_\infty} \right]^2 \sin^2 \theta \cdot \overline{Cl^2(\omega)} \quad (5)$$

$Cl^2(\omega)$ is the spectral density of the lift coefficient and L_f is the wet length of the foil.

B: $f \cdot S / a_0 > 1$ the sound spectral pressure density is given in the following form:

$$\overline{p^2(x, \omega)} = \frac{2}{\pi^2} \left[\frac{1}{2} \rho_0 U_\infty^2 \right]^2 M_\infty^2 \left[\frac{L_f}{r} \right]^2 \left[\frac{2\Lambda}{L_f} \right] K_d(\omega) \cdot \sin^2 \theta / 2 \quad (6)$$

$K_d(\omega)$ is the dimensionless spectrum of turbulence while Λ is the correlation length in y_3 direction, see figure 6b.

The microphone itself can be an additional source of noise when it is within the flow. The spectral density of it is given by:

$$\begin{aligned} \overline{p^2(x, \omega)} &= \frac{1}{4} \left[\frac{1}{2} \rho_0 U_\infty^2 \right]^2 M_\infty^2 \left[\frac{L_z d_z}{r^2} \right] C_k \left[C_l^2 \cdot \cos^2 \theta \cdot Sts + C_d^2 \cdot \sin^2 \theta \cdot Sts^2 \right] \\ &= \frac{1}{4} \left[\frac{1}{2} \rho_0 U_\infty^2 \right]^2 M_\infty^2 \left[\frac{L_z d_z}{r^2} \right] \cdot K_d(\omega) \end{aligned} \quad (7)$$

One can verify that the sound spectral pressure density radiated by these sources, (monopole, dipole, quadrupole), produced by the free jet flow, and by the interaction flow-solid boundaries, varies with $(\rho_0 U^2 / 2)^m M_\infty^n = q_\infty^m M_\infty^n$, (see equations 9, 4, 5, 6, 7).

4. Measurement results

The sound pressure level L_{p0} measured at point I3 when no deflector is used is shown in figure 7a. The dimensionless spectrum at the same point (figure.7b) shows that the high frequency noise emanates from the free flow (K'_o quadrupole character) and is produced close to the nozzle while the low frequency noise is produced at the microphone K_o .

The influence of the deflector can be seen in the following pictures (figure 8a,b). The dimensionless spectrum K_m based on the sound level L_{pm} recorded at the field point I2 behind a steel plate deflector with height $H_u = 107\text{mm}$ and an inclination angle $= 90^\circ$, as well as the dimensionless spectrum K_m behind the 7-blade deflector at the same point are presented in this figure. It can be seen that the sound pressure level radiated from the dominating source, has a sound power varying with $q_\infty^2 M_\infty^{-1} / \rho_0 a_0$. The three curves obtained with tree different jet velocities present no frequency shift when represented as a function of St_j , see figure 8b.

The spectrum behind the 7-blade deflector at the same point is more intense over a broad frequency band compared to that behind a straight wall; this is because each of the seven blades acts as a sound source with other frequencies which depend on the velocity of flow passing by it or through the channels.

The flow induced sound depends on the shape of the solid boundaries and on the flow velocity. The main sources at the deflector are the trailing edges. The more edges interact with the flow, the more dipole noise-sources.

5. Conclusion

As we could see from the measurements, the blade fence is a better deflector of the flow since we want the flow to be directed upwards. But in the acoustical view point, it is less efficient than a straight wall because first the screen effect is very weak if not existing at all, and it is an additional noise source whose intensity depends on the velocity of the flow and on the shape and edges of it.

The straight wall is less efficient in the aerodynamic point of view, but it has a better screen effect and can protect acoustically better the areas behind it. The straight wall is also a source of dipole noise even if less intense than the noise by blade fence.

So, it becomes obvious that if the low frequency noise can not be avoided, since it is the product of the interaction of the flow with the deflector itself. It seems to be a better choice to split the two functions: flow deflection and noise barrier or screen. This choice can be better seen in figure 9.

It would be better to use a deflector and an additional fence as a noise screen. Depending on the areas to be protected from the noise, enclosures are used. The closer the engines and the deflector are, the higher the frequency of dipole noise is. It is good to recall that:

- a: High frequency noise dissipates better than lower frequency noise.
- b: The screen effect (noise reduction ΔL_p) is better for high frequency noise.

References

- 1- Alison L. Marsden, Meng Wang, J. E. Dennis, Jr., Parviz Moin (2007): Trailing edge noise reduction using derivative-free optimization and large-eddy simulation. *Journal of fluid Mechanics* (2007), 572. 13-36, Cambridge University Press.
- 2- Bayr, Michael 1980: Untersuchung über die Wirksamkeit von Lärmschutzeinrichtungen für Triebwerksprobeläufe an Flughäfen, UBA 8010505 401/02, Herausgeber Umweltbundesamt 1985.
- 3- Bouadjelane Mohamed (2007): Noise Generation by Flow Passing by or Through Deflectors at Airports.
- 4- Paper No: in07_524, Proc. 36 Int. Congress on noise Control engineering, Inter-noise 2007.
- 5- BDI Blast deflectors Inc. Web site: <http://www.blastdeflectors.com/index.htm> Ground run-upenclosures overview, 2008.
- 6- Christophe Bogey : Calcul direct du bruit aérodynamique et validation de modèles acoustiques hybrides.
- 7- PhD Thesis, Ecole Centrale de Lyon, (2000).
- 8- W. Béchara, P. Lafon, C.Bailly: Application of a k- ϵ turbulence model to the prediction of noise for simple
- 9- and coaxial free jet. *Journal of Acoustical Society of America*, June 1992, 97 (6), 3518-3531.
- 10- W. K. Blake, "Mechanics of flow induced sound and vibration," Vol. I and Vol. II, Academic press 1986.
- 11- Z. Maekawa: Noise reduction by screens. *Applied acoustics* 1 (1968).

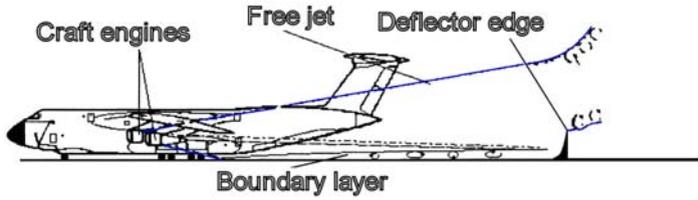


Figure 1: The noise sources at ground run up installations

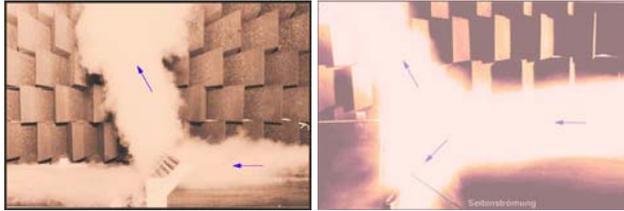


Figure 2: Flow deflection by a fence with curved blades and by a straight wall.

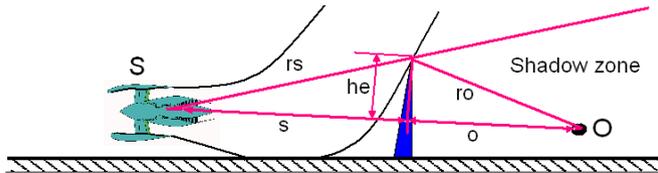


Figure 3: Sound diffraction by the fence between a source S and an observer O in the shadow zone.

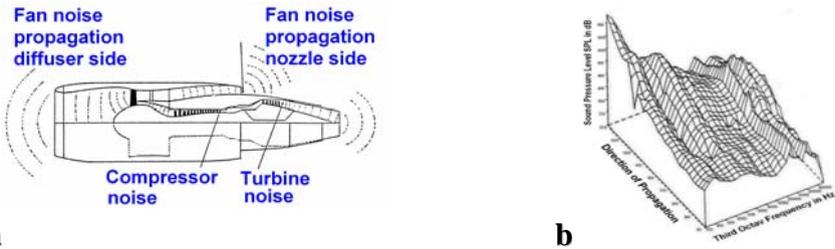


Figure 4: The sound sources at the engine (a) and the directivity spectrum of engine noise (b), (source: Bayr, Michael UBA 80 105 05 401/02).

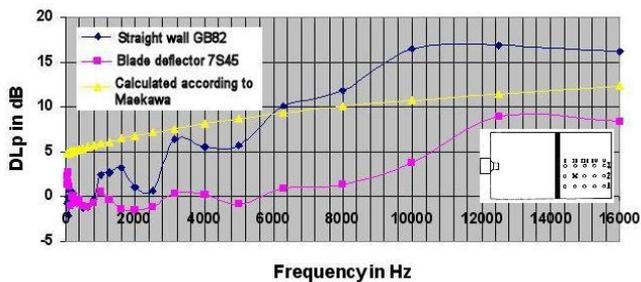


Figure 5: The calculated and the measured attenuation of the sound pressure level at point

II2,

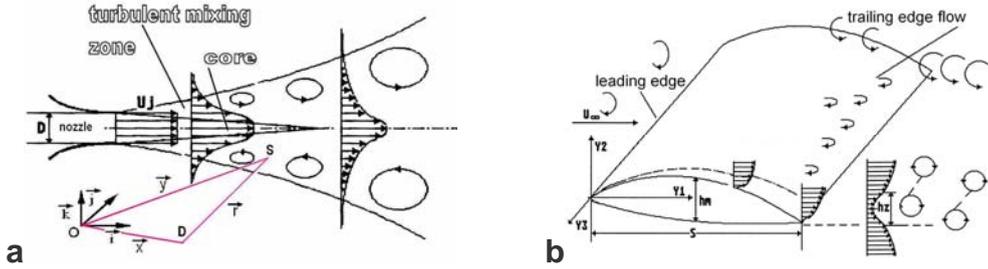


Figure 6: a: Jet noise sources locations, b: Leading and trailing edges of blade like boundaries interacting with the flow.

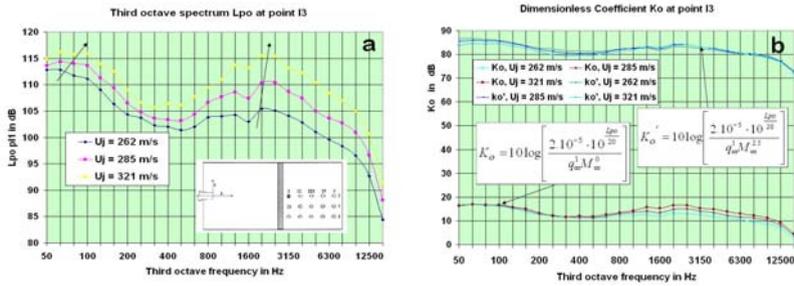


Figure 7: The sound pressure third-octave spectrum L_{p0} at point I3 and the dimensionless spectrum K_o .

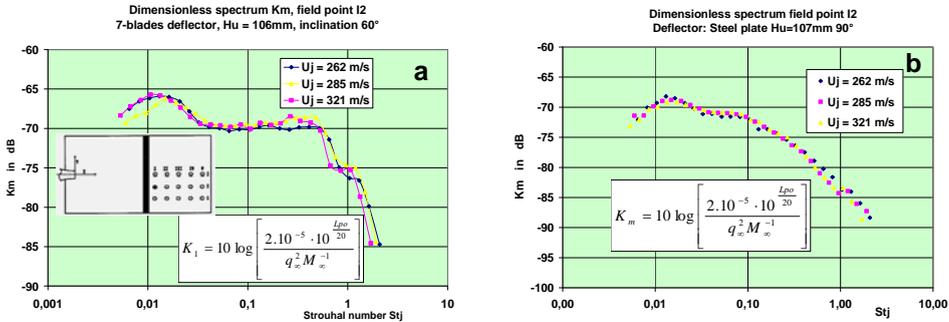


Figure 8: The dimensionless spectrum K_m at point I2
 a: when a blade deflector is used b: and when a steel plate is used as deflector.



Figure 9: Ground run up facilities, source (JBD Blast deflectors inc.)

Niveau de contamination par les éléments traces métalliques (ETM), des sédiments des oueds Rhumel et Sakiet Roum, dans la zone industrielle du complexe de l'ENMTP et à Constantine (Algérie)

Fatima-Zohra Afri-Mehennaoui *, Leila Salhi *, Naziha Zerief *& Smail Mehennaoui **

*Lab. Biologie et Environnement, Fac. Des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri, Constantine 25000, Algérie. Tel/fax 031 93 22 26. E-mail : f.afri_mehennaoui@yahoo.fr.

**Lab. Environnement, Santé et Production Animale, Fac. Des Sciences, Université Hadj Lakhdar, Batna 50000, Algérie.

Abstract

The level of trace metals contamination of Rhumel and Sakiet Roum wadis sediments, in an industrial (ENMTP complex) and urban areas of Constantine (Algeria).

In the urban zones, the pollutions engendered by the various means of transportation are added to other diverse punctual or diffuse sources. The transports, the road traffics and all the activities which are connected to them contribute to the pollution of the environment of our cities by trace metals emitted in the atmosphere. The trace metals particles settle largely on sprays. By dry weather, the atmospheric fallout settle and accumulate everywhere. In urban zones, during raining days, these deposits are carried by water, which is contaminated by the local atmospheric discharges. Streaming waters arrive to networks cleansing of wastes water and watercourses. During the rainy days, streaming waters are directly evacuated in receiving wadis without treatment. Constantine is the third algerian city and is crossed by the Rhumel wadi which is the receptacle of discharges and diffuse streamings. The city is known by its complexes of mechanical engineering industries of galvanoplasty and surface treatment. The industries's effluents are treated before their emission in the Sakiet Roum and than in the Rhumel wadi.

In These wadis, the assessment of the level contamination by traces metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn) was carried out on sediments. It is known that the argilo-muddy and organic particles

(< 63µm) bound trace metals and can become source of pollution. On the other hand, the water concentration of traces metals don't really reveal the contamination's level of the ecosystem because metals don't persist in the

dissolved state. Trace metals bind on suspended solids and settle on the bottom of the bed. On Rhumel wadi, sampling stations were chosen at upstream of Constantine city and industrial zone, than at downstream of the city. In addition two sampling stations were selected on Sakiet Roum wadi at upsteam and downstream of the effluent of the complex ENMTP. Traces metal concentrations are measured in sewage sludges and in hydroxides muds of the WWTP's industrial complex, in the sewage sludges of the WWTP Ibn-Ziad which treat wastewaters of the Constantine city. Diacid extraction (HCl + HNO₃) allowed to determine the rates due to the pollution. The dosages were made by flame or flameless Atomic absorption Spectrophotometer. The traces metals concentrations (mean ± sd) of sediments of every wadi as well as those of muds hydroxides and sewage sludges, and of the soil of the storage area of muds are presented.

Key-words : *Traces metals, Pollution, Wadi, Sediments, sewage sludges*

1. Introduction

En milieu urbain les pollutions engendrées par les différents moyens de transports s'ajoutent aux diverses autres sources ponctuelles ou diffuses. Le parc automobile, les trafics routiers et toutes les activités qui y sont liées contribuent à la contamination de l'environnement de nos villes par les éléments traces métalliques émis dans l'atmosphère et qui se fixent en grande partie sur les aérosols. Par temps sec, les retombées atmosphériques se déposent et s'accumulent partout, sur les toitures, les trottoirs et chaussées, les routes, les sols, les cultures, les milieux aquatiques... Lors des pluies, ces dépôts sont entraînés par une eau, qui en milieu urbain est déjà contaminée par les rejets atmosphérique locaux, et qui fait l'effet d'une chasse. Les eaux de ruissellement gagnent les réseaux d'assainissement et les cours d'eaux. Lors des événements pluvieux, les eaux sont directement évacuées dans les oueds récepteurs, sans traitement préalable en STEP. Dans les cours d'eau, les ETM d'origine atmosphérique s'ajoutent aux différentes autres sources urbaines, industrielles, agricoles et même naturelles. Constantine, troisième ville d'Algérie est traversée par l'oued Rhumel, cours d'eau de type méditerranéen, représentatif du nord-est algérien et réceptacle de rejets et ruissellements diffus. La ville est connue par ses complexes d'industries mécaniques, de traitement de surfaces et galvanoplasties (complexes : pelles, grues, CPG ; compacteurs, compresseurs, CCC ; chariots élévateurs, CCE) dont les effluents « traités » contaminent néanmoins les milieux récepteurs, l'oued Rhumel et son affluent Sakiet Roum. L'existence de ces entreprises de transformation des métaux, au moyen de produits corrosifs, tributaires de grandes quantités d'eau, a accentué encore cet aspect de la pollution. Dans le rapport du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (M.A.T.E.), de l'année 2005, on a estimé que les entreprises

industrielles génèrent annuellement plus de 220 millions de m³ d'eaux usées. A noter que ces eaux sont chargées de plus de 55 000 tonnes de charge de pollution dissoute et plus de 134 000 tonnes de matières en suspension (matières solides), ainsi que 8 000 tonnes de matières azotées. Ces eaux deviennent donc chargées de produits toxiques non biodégradables et sont finalement acheminées vers les réseaux hydrographiques les plus proches. Le résultat de cette pollution est alors, perceptible à l'œil nu : les oueds et cours d'eau récepteurs perdent leur aspect naturel. Ce phénomène s'observe dans les oueds de Constantine où se déversent quotidiennement, en plus des eaux usées urbaines, des rejets industriels dont ceux de la filiale SONACOME. Ces rejets, traités, des établissements industriels tels le complexe *C.P.G*, vers l'Oued Sakiet Roum (à environ 600 m en aval de cette unité), qui rejoint à environ 100 m plus en aval l'Oued Rhumel, finissent par altérer le milieu naturel récepteur. A fortiori notre étude s'est orientée vers cette unité industrielle, qui, à notre avis, constitue la principale source de pollution de son environnement. En ce sens, plusieurs éléments toxiques peuvent provenir de cette unité tels que le chrome, zinc, lors des opérations de chromage-zincage puis des phosphates, cyanures, nitrites, etc. qui entrent dans le processus de traitement des métaux. La forme hexavalente sous laquelle le chrome est très toxique mais aussi très soluble dans l'eau est la plus problématique. Cette solubilité lui confère une grande mobilité dans les écosystèmes si bien qu'une pollution au chrome (VI), d'abord très localisée, peut concerner ensuite une zone beaucoup plus vaste. Les méthodes mises en œuvre aujourd'hui pour traiter les rejets pollués par du chrome (VI), visent généralement à le réduire en chrome (III), afin de diminuer les impacts écotoxicologiques et leur étendue. Pour le CPG, ce traitement est effectué au sein d'une station de détoxification des eaux usées industrielles.

Nous nous sommes proposés d'évaluer le niveau de contamination par le chrome en particulier, ainsi que par six autres métaux : Cd, Cu, Mn, Zn, Pb, Ni, qui lui sont souvent associés, des sédiments de l'oued Sakiet Roum et ceux de l'oued Rhumel, situés aux alentours de la zone industrielle ENMTP d'Ain Smara, ainsi que du sol de l'aire de stockage des boues du Complexe Pelles-Grues (CPG), des boues d'hydroxydes de la station de détoxification et des boues d'épuration de la STEP de l'ENMTP. De plus, les conséquences engendrées par la zone urbaine de Constantine sur les teneurs des sept métaux ont été évaluées dans les sédiments de l'oued Rhumel. Par contre les teneurs des ETM dans l'eau ne traduisent pas réellement le niveau de contamination de l'écosystème, car les métaux ne persistent pas à l'état dissous mais se fixent sur les MES et se déposent au fond du lit. Il faut souligner que depuis 1997, les eaux usées urbaines (domestiques et industrielles) de Constantine sont collectées et traitées au niveau de la STEP Ibn Ziad dont les boues ont été analysées. Plus récemment, la STEP d'Oued Athmania traite les eaux usées collectées en amont de Constantine et de Ain-Smara. Les eaux traitées des deux STEP regagnent l'oued Rhumel et ce dans l'objectif de protéger les barrages Hammam Grouz (actuellement à sec) en amont et Béni

Haroun en aval de Constantine. L'impact de l'émission de l'eau traité sur les teneurs en ETM du Rhumel a été évaluée.

Notre principal objectif est de mettre en évidence le rôle des effluents du complexe ENMTP de Ain Smara (en amont de Constantine) sur la contamination métallique du récepteur, l'oued Sakiet Roum ainsi que celle de l'oued Rhumel par l'intermédiaire du compartiment sédiment. Dans un deuxième temps nous évaluerons le niveau de concentration des éléments traces métalliques des sédiments du Rhumel sous l'influence d'une zone urbaine, Constantine.

2. Matériel et méthodes

2.1. Localisation des sites de prélèvements

A Ain Smara, les sites de prélèvements sont au sein du CPG, de la STEP du complexe et des deux cours d'eau les plus proches de la zone industrielle ENMTP et qui reçoivent les effluents aqueux, soit deux sur Sakiet Roum et deux sur le Rhumel. Les boues hydroxydes sont échantillonnées après leur passage par la presse à boue, au niveau de l'installation de détoxification des eaux usées du CPG. De même du sol est prélevé sur l'aire de stockage des boues hydroxydes. Au niveau de Constantine, les sédiments du Rhumel sont prélevés en amont et en aval de Constantine ainsi que les boues d'épuration de la STEP Ibn-Ziad qui traite les eaux résiduaires de Constantine puis dans les sédiments du Rhumel en amont et aval de cette STEP.

2.2. Nature et préparation des prélèvements

Les prélèvements ont concernés les sédiments, les boues d'épuration de STEP, les boues hydroxydes ainsi que le sol de l'aire de stockage. Nous rapporterons les résultats des dosages des éléments traces métalliques (ETM) déterminés dans les sédiments des oueds :

- Sakiet Roum en amont et aval de la confluence oued-effluent ;
- Rhumel en amont et aval de la confluence avec Sakiet Roum ;
- Rhumel en amont et aval de Constantine ville ;
- Rhumel en amont et aval de la STEP Ibn Ziad.

Nous rapporterons également les teneurs des ETM déterminées dans les boues hydroxydes, dans le sol de l'aire de stockage de ces dernières, ainsi que celles des boues d'épuration de la STEP du complexe ENMTP et de la STEP Ibn-Ziad.

Notre intérêt porte sur la pollution récente, et dans ce sens, les sédiments fins superficiels (< 5cm), ainsi que le sol sont prélevés à l'aide d'une cuillère en inox. Les boues sont prélevées dans les bassins de séchage. Les échantillons sont séchés dans une étuve à 80°C puis broyés. Ceux destinés au dosage des éléments traces métalliques sont passés au tamis en inox de mailles de 63µm. Diverses études ont montré que les particules de diamètre inférieur à 200 µm (mais surtout à 63 µm)

concentrent l'essentiel des contaminations métalliques (Förstner, 1982 ; Robbe, 1984). La coupure à 63 µm est en effet une séparation traditionnelle en sédimentologie entre les sables d'une part (> 63µm) et la vase (limon et argile) d'autre part. Les échantillons sont conservés à 4°C.

2.3. Techniques d'extraction des éléments traces métalliques

La méthode retenue est une digestion humide à l'eau régale (aqua regia), mélange d'HNO₃ (Suprapur 63%) et d'HCl (Suprapur 37%), dans les proportions 1:3 (1V/3V). Dans des bombes à téflon, 10ml d'un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique concentrés sont ajoutés à 0.5g de sédiment, de sol, ou de boues secs tamisés à 63µm. La digestion est effectuée sous pression et à chaud dans un four à micro-ondes (modèle MWS-2, Berghof B).

Tableau 1 : Etapes et conditions d'extraction des métaux lourds.

Etapes	Temps (mn)	T° (°C)	Puissance (%)
1	20	175	80
2	20	100	40
3	5	20	40

Elle est réalisée en trois étapes, selon les conditions notées dans le tableau 1.

Après refroidissement, le liquide obtenu est transféré par filtration (sur papier Whatman 540), dans une fiole de 50 ml, les bombes à téflon sont rincées et complétées avec de l'eau pure. Tous les extraits sont conservés à 4°C dans des flacons en polypropylène, rincés préalablement par de l'acide nitrique (5N) et l'eau déminéralisée, afin d'éviter les éventuelles contaminations. L'efficacité du processus d'extraction est contrôlée à l'aide de l'analyse d'un échantillon de référence certifié. Il s'agit d'un sédiment d'un lac canadien (Lake Sediment n°LKSD1), provenant de CANMET, dont les teneurs certifiées en ETM ont été déterminées après extraction à l'eau régale.

2.4. Techniques de dosage des éléments traces métalliques

Les dosages du chrome, zinc, plomb, cadmium, cuivre, nickel et manganèse, sont effectués par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme et électrothermique de type *Perkin-Elmer AAnalyst 100*. Les gammes d'étalonnage sont préparées à l'aide de solution mère Perkin-Elmer à 1000 mg/l.

3. Résultats et Discussion

Les teneurs (moyennes ± écartype) des ETM déterminées dans les sédiments des oueds Sakiet Roum et Rhumel sont présentés dans le tableau 2. A la lecture de ce tableau, il ressort que les valeurs déterminées en aval excèdent celles de l'amont

excepté pour le Cd au niveau de Sakiet Roum et du Rhumel à Constantine et le Cu dans le cas du Rhumel dans la zone de L'ENMTP. Les teneurs en ETM peuvent être classées, en fonction de leur abondance relative dans les sédiments du Rhumel, au niveau de l'ENMTP (fig.1), comme suit: $Mn > Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Cd$; et pour son affluent Sakiet Roum ainsi : $Mn > Cr > Zn > Ni > Pb > Cu > Cd$. Il ressort de cette synthèse que Mn, Pb et Cd occupent la même place dans la hiérarchie pour le Rhumel et son affluent. Dans l'ensemble la séquence des teneurs est maintenue de l'amont vers l'aval sauf pour le Ni et Cu pour le Rhumel, et sauf pour le Zn et Cr pour Sakiet Roum dont le comportement est légèrement inversé. Ce sont les deux éléments les plus abondants à l'exutoire de la zone industrielle ENMTP par rapport a l'amont. Les concentrations moyennes observées dans les sédiments du Rhumel sont nettement supérieures à celles trouvées dans ceux de Sakiet Roum pour le Mn, Zn, Pb, et légèrement supérieures pour le Ni, Cu, Cd.

Seul le Cr enregistre des teneurs élevées au Sakiet Roum par rapport à son recepateur le Rhumel. Il ne fait pas de doute que les très fortes concentrations de certains métaux relevées dans les sédiments analysés sont le résultat d'une pollution industrielle et urbaine. La pollution engendrée par le complexe ENMTP ainsi que la pollution urbaine dont les origines sont multiples et où les moyens de transports contribuent largement, est mise en évidence par analogie entre les stations amont et aval pour chacun des cas étudiés (tableau 2).

Les teneurs en Cr (8563mg/kg ms) et en Zn(3339mg/kg ms) des boues de la STEP du complexe ENMTP (tableau 3) sont supérieures à celles des valeurs limites pour l'épandage des boues (tableau 4) contrairement à celles d'Ibn-Ziad qui pourraient, elles, être utilisées comme engrais organiques tout en tenant compte des teneurs et de la nature des sols à amender. Les boues hydroxydes sont excessivement concentrées en Cr puis en Zn, Cu, Pb, et leur stockage constitue un danger pour l'environnement dans la mesure où les métaux toxiques peuvent être entraînés par les eaux de pluie et contaminer les sols et les cours d'eau voisins. Le sort de ces boues doit être murement réfléchi. Le sol de l'aire de stockage révèle des teneurs élevées en Cd, Cr, Pb, Zn et traduit une contamination par lessivage des boues stockées. Les eaux usées de Constantine sont traitées en STEP. Les teneurs des ETM ont été déterminées dans les boues d'épuration et dans les sédiments du Rhumel en amont et en aval de la STEP pour apprécier le niveau de contamination des rejets urbains et déceler les effets des eaux traitées sur l'oued (tableau 4). Le traitement des eaux en STEP contribue à l'augmentation des teneurs du Cd, Cu, Pb, Zn.

Tableau 2 : Teneurs (moyennes \pm écart-type) en mg/kg des ETM dans les sédiments des oueds Sakiet Roum (a) et Rhumel (b) en amont et aval de l'ENMTP et dans les sédiments du Rhumel (c) en amont et aval de Constantine ; d = valeurs standard pour le bassin Rhône-Méditerranée-Corse définies en 1986 (Génin et al, 2003) ; e = valeurs de référence pour la Seine (Thévenot, Meybeck et al, 1998) ; n= nombre de campagnes de prélèvement.

ETM	Oued Sakiet Roum à l'effluent ENMTP (a)			Oued Rhumel confluence Sakiet Roum- Rhumel (b)			Oued Rhumel Ville de Constantine (c)			Valeur de référence	
	n	Amont	Aval	n	Amont	Aval	n	Amont	Aval	(d)	(e)
Cd	4	2,5 \pm 1,2	2,18 \pm 1	4	2,7 \pm 1,2	4,1 \pm 1,2	9	2,3 \pm 1,3	2,45 \pm 1,3	0,5	0,35
Cr	4	90 \pm 10	141 \pm 34	4	67 \pm 8,6	83 \pm 19	9	32 \pm 17	38 \pm 17	25	50
Cu	4	19,5 \pm 1	28 \pm 3	4	25 \pm 1	22,5 \pm 12	9	16 \pm 11	26 \pm 18	20	15
Ni	4	42 \pm 2	49 \pm 2	4	33 \pm 1,5	44 \pm 7	9	29 \pm 9	42 \pm 22	10	17
Pb	4	22 \pm 9	36 \pm 17	4	56 \pm 6,4	70 \pm 11	9	69 \pm 28	120 \pm 58	20	25
Zn	4	94 \pm 2,3	135 \pm 99	4	134 \pm 9	172 \pm 17	9	133 \pm 36	234 \pm 83	75	80
Mn	4	232 \pm 9	218 \pm 14	4	247 \pm 10	252 \pm 19	9	191 \pm 82	227 \pm 66	-	-

Tableau 3 : Teneurs (moyennes \pm ET) en mg/kg ms des ETM dans les boues d'épuration de STEP, dans les boues hydroxydes et dans le sol de l'aire de stockage des boues de l'ENMTP.

ETM	STEP ENMTP	Boues hydroxydes	Sol de l'aire de stockage
Cd	7,4	3,9 \pm 0,6	6,7
Cr	8563	152 905 \pm 46 108	214
Cu	642	4389 \pm 1654	21
Ni	83	160 \pm 65	47
Pb	289	558 \pm 153	133
Zn	3339	8481 \pm 4512	263
Mn	249	330 \pm 206	282

Tableau 4: Teneurs (mg/kg ms) des ETM dans les boues d'épuration et dans les sédiments du Rhumel en amont et aval de la STEP Ibn Ziad ;

ETM	STEP Ibn-Ziad (moy ± ET)	Sédiments		France Teneurs moyennes	Etats-Unis Teneurs moyennes	Valeurs limites pour épandage des boues (UE)
		Amont STEP	Aval STEP			
Cd	2,25 ± 0,5	1,75	2,8	2,5	26	20
Cr	50 ± 12	46	44	134	432	1000
Cu	128 ± 75	25,4	32	371	712	1000
Ni	85 ± 42	41	38	45	167	300
Pb	169 ± 19	72,5	144	95	303	750
Zn	756 ± 133	195	265	789	1526	2500
Mn	183 ± 83	255	205	-	-	-

Le Mn est naturellement présent dans les sédiments, et sa teneur peut être relativement élevée, et étroitement dépendante de la nature du substrat. Dans notre cas on n'observe pas de différences inter-sites significatives entre le Rhumel et son affluent Sakiyet Roum, observation déjà rapportée par Afri-Mehennaoui (2004), entre le Rhumel et son affluent le Boumerzoug et le Hammimine. Donc on peut souligner l'absence de pollution par cet élément pour toutes nos stations, si on compare nos teneurs à celle proposée par Taylor (1964, *in* Biney et al, 1994), pour les sédiments de la croûte continentale qui est de 950 mg/kg, et 750 mg/kg pour les sédiments non pollués.

4. Conclusion

Cette étude a permis la mise en évidence, sans équivoque, de l'impact du Complexe Pelles et Grues (CPG) de l'Entreprise Nationale des Machines des Travaux Publics (ENMTP) sur l'augmentation des teneurs en ETM fixés sur les sédiments des cours d'eau Oued Rhumel et Sakiyet Roum. Les sédiments constituent un véritable réservoir pour les polluants les plus divers et jouent un rôle dans la propagation spatiale et temporelle des contaminants. Le stockage des boues contaminées constitue un véritable danger pour l'environnement et leur détoxification doit être entreprise. La pollution urbaine par les ETM d'origines multiples et qui contaminent tous les écosystèmes augmente avec le nombre de véhicules de transport et d'engins de chantier en croissance continue.

Références

- 1- Afri-Mehennaoui F.Z., L. Sahli & S. Mehennaoui (2004): Assessment of sediment trace metal level and biological quality of Rhumel river by using multivariate analysis. *Environmetrics*, 15: 435-446.
- 2- Förstner U., 1982. Accumulative phases for heavy metals in limnic sediments, *Hydrob*, 91,269-284.
- 3- Genin B., C. Chauvin & F. Menard (2003): Cours d'eau et indices biologiques, Pollution – Méthodes – IGBN ; 2eme Ed. Educagri Ed. livre + CD, 221 p.
- 4- Robbe D. (1984) : Interprétation des teneurs en éléments métalliques associés aux sédiments. Rapport des laboratoires, série Environnement et Génie urbain EG-1, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 149 p
- 5- Thévenot D., M. Meybeck, A. Chesterikof, M. Chevreuil, W.W. Huang, A. Estebe, Z. Idlafkih,
- 6- Jairy, A.L. Bussy, S. Garnaud, J.M. Mouchel (1998): La Seine en son bassin. Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé ; Meybeck M., de Marsily G. Fustec E. (Eds), Elsevier, Paris. 749 p.

La performance du gaz de pétrole liquéfié (GPL) en comparaison avec l'essence commerciale (Magna) dans un moteur à allumage commandé, à 2240 m (México)

¹Rogelio Gonzalez , ¹Francisco Gonzalez, ²Esteban Barrios , ²Israel Martines , ³William Vicente , ³Santos Mendez .

Univ. Nal. Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ingeniería, Av. Universidad 3000, Col. Copilco Universidad, C. P. 04510 México D. F. tel. (55)56228103, fax (55)56228106

¹Laboratorio de Control de Emisiones, rog195@servidor.unam.mx

²Departamento de Termofluidos, ³Instituto de Ingeniería.

Abstract

*The working team of the Laboratory of Control of Emissions of the Autonomous National University of Mexico have realized a study, which shows the diverse composed that are formed in an internal combustion engine, in the combustion chamber and even, products of chemical reactions that happen during the escape process and chemical reactions at the environment. This work was realized on an engine with carburettor, using 2 of the fuels of most demand in Mexico City: the gasoline **Magna** and the **liquid petroleum gas (LPG)**. Of simultaneous form to these measurements, it was developed the torque's curve with each of these fuels, to know as these fuels affect the engine performance.*

The Mexican Institute of the Petroleum supported this study by measuring (by chromatography, fig. 2) the concentration of compounds formed in the samples of exhaust gas of each of the fuels.

Key-words: *liquefied petroleum gas, liquefied gas, fuel – torque*

1. Objectifs

Les objectifs principaux ou les plus importants de cette étude sont les suivants :

1. Connaître les composés chimiques principaux qui se forment après avoir utilisé les combustibles, du gaz de pétrole liquéfié (GPL) et l'essence Magna Pemex, qui sont les plus demandés au Mexico.
2. Comparer quelques des prestations du moteur avec chacun de ces carburants.

2. Matériel utilisé

Pour développer ces activités on a utilisé un banc moteur avec un dynamomètre de marque CLAYTON (modèle A-31050 de la série CAM-250-10456) dont la capacité maximale est de 187 kW (250 Cv) à 8000 t/mn. Le moteur testé est un Ford, modèle 1989, à carburateur, refroidi par eau, quatre cylindres en ligne, une cylindrée totale de 2309 cm³, il a une course de 8.4 cm, un diamètre de piston de 9.35 cm, une puissance maximale de 75 kW (100 Cv) à 5000 t/mn, un Couple maximale de 163 N.m (120 lb*ft) @ 3400 rpm et un rapport de compression de 9:1. Pour mesurer le débit de GPL nous utilisons un débitmètre ProBar de marque Dieterich Standard.

Pour mesurer la consommation du carburant liquide (l'essence Magna), nous utilisons un débitmètre ABB K-Flow, un mesureur gravimétrique type Coriolis. Il mesure le débit de masse directement, en utilisant l'effet du poids du fluide conforme le traversant. C'est une mesure très exacte (0.2 - 0.5 % d'erreur) qui est indépendante des variations de la densité, la viscosité, le profil de vitesses, la pression et la température. Par ailleurs, comme le mesureur de flux Coriolis n'a pas de parties à mouvement, sa maintenance est facile et il ne requiert pas de calibrage fréquent.

3. Développement

Pour diluer les gaz d'échappement avec l'air atmosphérique propre, et prendre quelques échantillons dans des sacs tedlar, un tunnel de dilution a été construit comme le montre la figure 1, en utilisant un turbo-souffleur, une bombe de vide et des mesureurs de débit, pour enregistrer chacun des débits et pour calculer la masse de chaque composé qui est émis dans l'atmosphère. La concentration de chaque composé donnée par les chromatogrammes servira à calculer la masse émise, comme les équations suivantes le montrent [3] :

Le débit total à la chambre est : $\dot{m}_a + \dot{m}_e = \dot{m}_s + \dot{m}_d$ [kg]

Et dont les débits respectifs sont : $q_a + q_e = q_s + q_d$ [m³]

Où les indices indiquent :

- a** l'air de dilution
- e** le gaz d'échappement brut
- s** échantillon du gaz dilué
- d** le gaz dilué pas échantillon

Avec ces équations, on peut estimer les relations linéaires entre le débit de masse et le débit volumétrique, et calculer les débits totaux et spécifiques de chaque polluant.

$$\dot{M}_r = \left(\frac{(\dot{m}_s)(q_s + q_a)}{q_s q_a} \right) \left(\frac{\dot{m}_{comb} + \dot{m}_{air}}{\rho_{g.e.}} \right) \quad \left[\frac{mg}{s} \right]$$

Où $\rho_{g.e.}$ c'est la densité du gaz d'échappement.

$$K_u = \dot{M}_r \left(\frac{3600}{Potencia} \right) \quad \left[\frac{mg}{kW-h} \right]$$

En ce qui concerne les adaptations qui ont été faites au moteur, pour utiliser les 2 combustibles, un régulateur de GPL diminue la pression du gaz, pour mélange avec l'air, et il passe aussi pour un échangeur de chaleur, en acquérant une part de l'énergie que dissipe l'eau de refroidissement du moteur, pour garantir un flux constant et une phase gazeuse homogène[4].

4. Résultats et conclusions

Comme on peut le voir dans les tables suivantes (1 - 4) le nombre de composés chimiques qui se forment par combustion de l'essence Magna, est beaucoup plus grand que ceux formés par le GPL, principalement du ralenti.

Les trois conditions d'opération du moteur, choisis pour quantifier les émissions de chaque type de combustible, ne sont pas représentatives des conditions d'opération du moteur, ni du parc de véhicules, parce que les résultats sont simplement indicatifs et en aucune façon concluants.

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) présente des émissions élevées de propane, ce qui est un indicateur d'une mauvaise combustion, cependant en général c'est un combustible plus propre que l'essence, qui émet certains des composés chimiques à l'atmosphère. En ce qui concerne les émissions spécifiques, celles-ci elles sont très basses grâce au bas rendement volumétrique du moteur quand il utilise ce combustible.

Les figures 3 et 4 montrent les courbes de la Couple développé par le moteur testé, en utilisant l'un et l'autre carburant respectivement, et une diminution significative est trouvée après avoir utilisé du GPL. Cette situation découle de ce qu'un bon remplissage n'existe pas dans les cylindres du moteur c'est-à-dire le rendement volumétrique baisse notablement quand le combustible gazeux, GPL, est utilisé.

A moyenne et pleine charges, quand l'un emploie de l'essence Magna il y a une diminution substantielle de la quantité d'éléments chimiques qui sont émis à l'atmosphère ; cependant, après avoir employé du GPL il présentent de grands

avantages, tant pour les émissions totales, que pour les émissions spécifiques. Pour ces conditions de test il devient évident que les combustibles gazeux s'emploient avec un rapport air/carburant pauvre, ce qu'implique la réduction de carburant, et par conséquent une émission moindre de CO₂.

Références

- 1- Kenneth Wark. (1998) Termodinámica. McGraw Hill, 4ta Ed., México.
- 2- López, Santiago.(2000) Utilización de combustibles alternativos en un motor de encendido provocado. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM. México.
- 3- González Oropeza R., Romero López A. F. (1994), Particulate Matter Emissions, Analysis by Means of a Sampling Sonde Technique , SAE Technical paper series. Paper No 940741, Detroit USA.
- 4- González Oropeza R., Rincón Gómez P.I., Godínez Rosales R.,(2003) Monitoreo de vehículos a gas para transporte público, XI Congreso Anual Sociedad Mexicana de Instrumentación México, D.F.
- 5- BROWN Theodore (1988); Química: La Ciencia Central, 3ª Ed., México, Pag. 379.
- 6- Frank M. White (1988). Mecánica de fluidos. McGraw Hill. México.
- 7- Variant (2000), Chromatography and Spectroscopy Supplies, USA, Pags. 37-42
- 8- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México www.semarnat.gob.mx
- 9- Ministerio de ciencia e investigación, España, www.ciemat.es
- 10- Petróleos Mexicanos (PEMEX), www.pemex.com

Tables et Figures

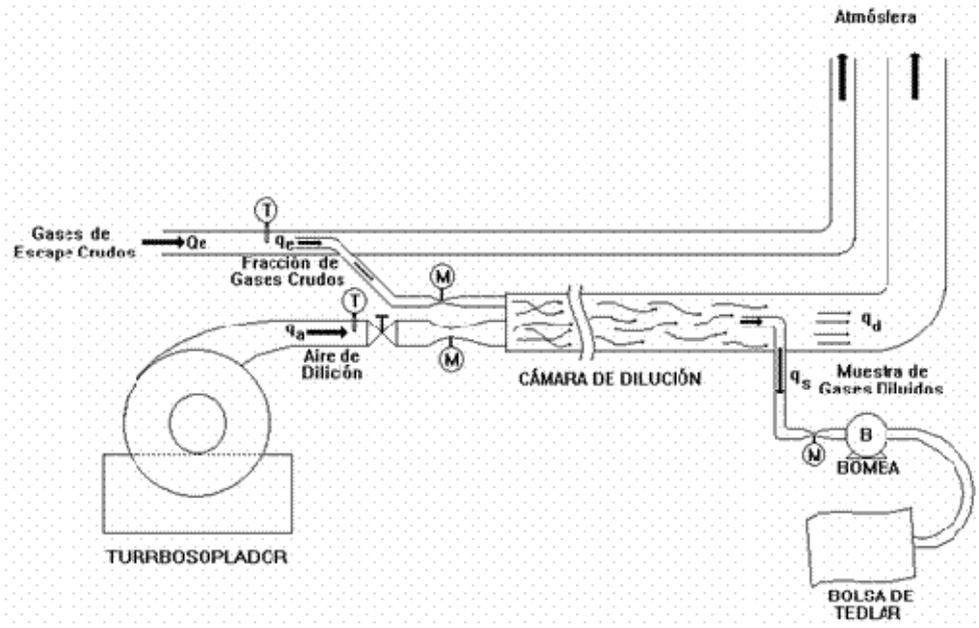


Figure 1 : Les Composants du Système de Dilution



Figure 2 : Laboratoire de Chromatographie de l'Institut Mexicain du Pétrole

Table 1. Composés émis du ralenti en utilisant du GPL

Prueba 1.1		Combustible: GPL		Modo: Ralenti	
No	Elemento	Concentración	Masa Diferencial del Contaminante	Emisión Total del Contaminante	Emisión Específica del Contaminante
		[ppm]	[g/h]	[g/h]	[g/kWh]
1	METANO	2.675	3.3337885148E-04	1.284.154	180.88
2	ETILENO	6.388	7.9812088250E-04	3.088.807	431.95
3	ACETILENO	0.8	9.9702026612E-05	384.046	54.09
4	ETANO	2.536	3.1605542436E-04	1.217.426	171.48
5	PROPILENO	7.434	9.2648108229E-04	3.568.747	502.67
6	PROPANO	179.682	2.239324432E-02	86.257.689	12.149.80
7	iC4	27.316	3.4043258507E-03	13.113.250	1.647.06
8	nC4	81.944	1.0212478566E-02	39.337.830	5.540.92
9	iC5	6.525	8.1319465466E-04	3.132.375	441.21
TOTAL		315.3	3.9295061239E-02	151.362.125	21.320.07

Table 2. Composés émis à charge moyenne en utilisant du GPL

Prueba 1.2		Combustible: GPL		Modo: Media Carga	
No	Elemento	Concentración	Masa Diferencial del Contaminante	Emisión Total del Contaminante	Emisión Específica del Contaminante
		[ppm]	[g/h]	[g/h]	[g/kWh]
1	METANO	2.557	3.1697828254E-04	130.266	74.05
2	ACETILENO	5.736	7.1105274096E-04	292.219	166.12
3	PROPANO	13.74	1.7032779046E-03	699.980	397.92
4	iC4	2.216	2.7470624721E-04	112.893	64.18
5	nC4	5.316	6.5899747750E-04	270.822	153.95
TOTAL		29.565	3.6650226528E-03	1.506.181	856.21

Table 3. Composés émis à plein charge en utilisant du GPL

Prueba 1.3		Combustible: GPL		Modo: Plena Carga	
No	Elemento	Concentración	Masa Diferencial del Contaminante	Emisión Total del Contaminante	Emisión Específica del Contaminante
		[ppm]	[g/h]	[g/h]	[g/kWh]
1	METANO	2.377	2.95849385296E-04	130.266	55.53
2	ETILENO	6.402	7.9879947271E-04	350.848	149.56
3	ACETILENO	0.542	6.7457874780E-05	29.703	12.66
4	ETANO	1.144	1.4238341093E-04	62.694	26.73
5	PROPILENO	7.663	9.4129872105E-04	414.474	176.68
6	PROPANO	34.845	4.3368443663E-03	1.909.605	814.02
7	iC4	5.896	7.3382219430E-04	323.118	137.74
8	nC4	15.068	1.8753787027E-03	825.769	352.01
9	iC5	2.015	2.5078896244E-04	110.428	47.07
TOTAL		75.852	9.4405175577E-03	4.156.905	1.771.99

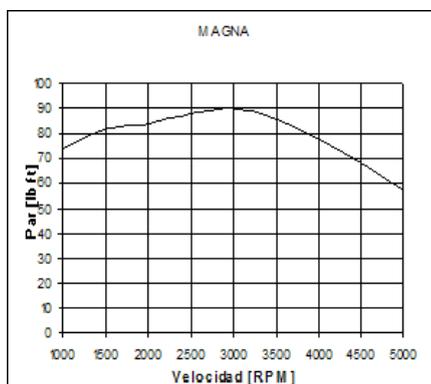


Figure 3. Courbe du Couple avec Essence Magna

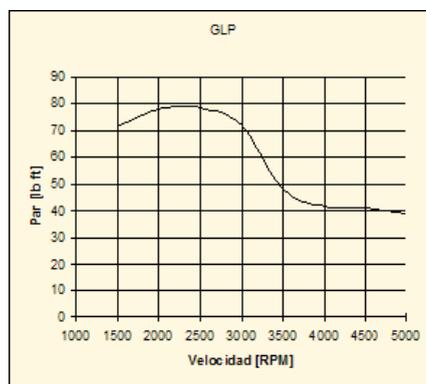


Figure 4 : Courbe du Couple avec Gaz GPL

Table 4 : Composés émis au ralenti, en utilisant l'essence Magna

Prueba 2.1		Combustible: Magna		Modo: Ralenti	
No	Elemento	Concentración	Masa Diferencial del Contaminante	Emisión Total del Contaminante	Emisión Específica del Contaminante
1	METANO	20.853	2.5053135703E-03	1.626.774	1.227.12
2	ETILENO	22.148	2.6808969910E-03	1.727.799	1.303.33
3	ACETILENO	62.908	7.5578701423E-03	4.907.549	3.701.90
4	ETANO	2.998	3.6018462972E-04	233.879	176.42
5	PROPILENO	9.735	1.1695788427E-03	759.442	572.87
6	PROPANO	1.082	1.2759041920E-04	82.848	62.49
7	iC4	3.676	4.4164068008E-04	286.770	216.32
8	i-BUTILENO	8.284	9.9285049368E-04	644.687	488.31
9	BUTENO-1	3.216	3.8637550874E-04	250.885	189.25
10	1,3-BUTADIENO	3.556	4.2722368354E-04	277.409	209.26
11	nC4	21.272	2.5556629164E-03	1.659.461	1.251.78
12	i-BUTENO-2	3.872	4.6518842104E-04	302.061	227.85
13	2,2DMC3	2.625	3.1537179887E-04	204.780	154.47
14	o-BUTENO-2	3.9	4.6855238890E-04	304.245	229.50
15	1,2-BUTADIENO	2.324	2.7920916594E-04	181.299	136.76
16	3M-BUTENO-1	1.488	1.7877075685E-04	116.081	87.56
17	iC5	133.89	1.6085763867E-02	10.444.963	7.878.93
18	iPENTENO-1	5.77	6.9321724934E-04	450.126	339.54
19	2M-BUTENO-1	9.47	1.1377413087E-03	738.789	557.27
20	nC5	67.335	8.0897371723E-03	5.252.908	3.962.41
21	ISOPRENO	7.14	8.5781129294E-04	557.002	420.16
22	i-PENTENO-2	14.86	1.7853047357E-03	1.159.251	874.46
23	o-PENTENO-2	7.925	9.5212247851E-04	618.241	466.36
24	2M-BUTENO-2	19.61	2.3559775146E-03	1.529.806	1.153.98
25	o-1,3-PENTADIENO	5.275	6.3374713869E-04	411.511	310.41
26	2,2DMC4	34.896	4.1924625880E-03	2.722.290	2.063.50
27	4M-PENTENO-1	2.484	2.9843182798E-04	193.781	146.17
28	CYC5	10.386	1.2441967997E-03	807.887	609.41
29	2,3DMC4	44.67	5.3667269546E-03	3.484.775	2.628.66
30	2MC5	98.088	1.1784452395E-02	7.651.994	5.772.11
31	O6 (3)	2.748	3.3014922031E-04	214.376	161.71
32	MT BE	47.628	5.7221059188E-03	3.715.533	2.802.73
33	3MC5	55.806	6.7046242310E-03	4.353.511	3.283.98
34	O6 (5)	5.016	6.0283045453E-04	391.306	295.17
35	HEXENO-1	3.66	4.3971839388E-04	285.522	215.38
36	nO6	42.432	5.0978499695E-03	3.310.185	2.496.97
37	O6 (6)	4.512	5.4207908915E-04	351.988	265.51
38	i-HEXENO-2	7.326	8.8015763754E-04	571.512	431.11
39	2M-PENTENO-2	8.28	9.9477275888E-04	645.935	487.25
40	O6 (8)	5.64	6.7759883644E-04	439.985	331.89
41	o-HEXENO-2	3.738	4.490894160E-04	291.607	219.97
42	2,2DMC5	7.819	9.3938746491E-04	609.972	460.12

Prueba 2.1		Combustible: Magna		Modo: Ralentí	
No	Elemento	Concentración	Masa Diferencial del Contaminante	Emisión Total del Contaminante	Emisión Específica del Contaminante
43	MCYC5	32.347	3.8882215538E-03	2,523.439	1,903.60
44	24DMC5	51.898	6.2351107118E-03	4,048.642	3,054.00
45	BENCENO	47.85	5.7487773823E-03	3,732.851	2,815.79
46	CYC5	14.728	1.7894460398E-03	1,148.954	868.89
47	2MC5 y 23DMC5	88.018	1.0574628864E-02	6,886.418	5,179.53
48	3MC8	28.791	3.4589978901E-03	2,246.030	1,694.24
49	o-13DM CYC5	7.889	9.4779737900E-04	610.433	464.24
50	l-13DM CYC5	5.292	6.3578954863E-04	412.837	311.41
51	l-12DM CYC5 y 3EC5	9.149	1.0991758430E-03	713.727	538.38
52	224TMC5	241.432	2.9006035865E-02	18,834.478	14,207.37
53	mC7	21.791	2.6180064284E-03	1,699.949	1,282.32
54	MUYC5	25.335	3.0439085319E-03	1,975.500	1,490.93
55	ECYC5 o 223TMC5	6.944	8.3426353198E-04	541.712	408.63
56	26DMC8 y 233TMC8	41.684	5.3588947737E-03	3,478.088	2,623.80
57	24DMC8 o 223TMC5	32.344	3.8858611287E-03	2,523.205	1,903.32
58	234TMC5	104.968	1.2611027423E-02	8,188.713	6,176.98
59	TOLUENO	209.482	2.5167510542E-02	16,342.010	12,327.23
60	23DMC8	26.632	3.1996120943E-03	2,077.603	1,567.19
61	2MC7	20.984	2.6210521248E-03	1,630.994	1,234.83
62	3MC7	26.152	3.1419441083E-03	2,040.157	1,538.95
63	225TMC8	29.754	3.5748942871E-03	2,321.155	1,750.91
64	mC8	35.388	4.2491894410E-03	2,759.112	2,081.27
65	ETILBZ	48.04	5.7716042735E-03	3,747.674	2,826.97
66	m-XILENO	71.728	8.6175193865E-03	5,595.610	4,220.93
67	p-XILENO	37.872	4.5500041017E-03	2,954.452	2,228.83
68	4MC8	11.288	1.3559195227E-03	880.439	681.14
69	2MC8	14.384	1.7257144834E-03	1,120.558	845.27
70	3MC8	17.883	2.1484929064E-03	1,395.080	1,052.35
71	o-XILENO	38.28	4.5990218899E-03	2,986.281	2,252.64
72	mC9	34.146	4.1023563588E-03	2,683.781	2,009.36
73	nC3BZ	9.504	1.1418201244E-03	741.422	569.27
74	mC3BZ	14.94	1.7949160867E-03	1,165.492	879.16
75	1M3FBZ (METOL)	34.227	4.1120878304E-03	2,670.100	2,014.13
76	1M4EBZ (PETOL)	15.831	1.9019622859E-03	1,235.000	931.60
77	23DMC8	18.08	2.1721808090E-03	1,410.448	1,083.94
78	4MC9	7.73	9.2889485918E-04	603.029	454.88
79	1M2EBZ (OETOL) y 2MC9	19.99	2.4018313370E-03	1,559.450	1,178.34
80	124TMDZ	2.400	2.9302545427E-04	190.270	143.53
81	mC10	20.75	2.4929389816E-03	1,618.739	1,221.06
82	123TMBZ	4.077	4.8981745677E-04	318.053	239.92
	TOTAL	2363.171	2.8391523403E-01	184,354.587	139,063.80

Numerical simulation of the turbulent combustion and soot Of diffusion flame

Karima Boussouara^{*}, mahfoud Kadja^{**}

^{*}, ^{**} Laboratory of mechanical, university of Constantine Algeria

*Balance_027@yahoo.fr. **Kadja.mahfoud@caramail.com

Abstract

Numerical simulation of the turbulent combustion and soot of diffusion flame

Modelling internal combustion engines (I.C.E.) can be made following different Approaches, depending on the type of problem to be simulated. A diesel combustion model has been developed and implemented in a full cycle simulation of a combustion model accounts for transient fuel spray evolution, fuel-air mixing, ignition, combustion and soot pollutant formation. The models of turbulent combustion of diffusion flame, apply to diffusion flames, which one meets in industry, typically in the diesel engines Particulate emission represents one of the most deleterious pollutants generated during diesel combustion engines oxidation in internal combustion engines. A phenomenological numerical Stringent standards on particulate emission along with specific emphasis on size of emitted particulates have resulted in increased interest in fundamental understanding of the mechanisms of soot particulate formation and oxidation in internal combustion model which can predict the particle size distribution of the soot emitted will be very useful in explaining the above observed results and will also be of use to develop better particulate control techniques. A diesel engine chosen for simulation is a version of the Caterpillar 3406. We are interested in employing a standard finite-volume CFD (computational fluid dynamics) code, KIVA3V-RELEASE2.

Key-words: *Flame, turbulence, modelling, soot formation and oxidation.*

1. Introduction

The general fact that the net soot formation rate is primarily affected by pressure, temperature and equivalence ratio has been fairly well established. However, the details of the mechanism leading to soot formation are not known. Consequently, semi-empirical, two-rate equation models have been used to describe the soot dynamics. Soot is a solid black material that consists mostly of carbon and hydrogen in the core and with toxic components like metals, acids and organics absorbed on the surface area. Many studies have shown that human exposure to soot particles can lead to changes in heart. To avoid the formation of soot and soot

precursors in combustion processes, complex pathways have to be examined. For this reason soot formation has been widely studied in the last decades but is nevertheless not fully understood, Laurie PESANT (2005). The mathematical and numerical description of soot formation and oxidation in technical combustion systems has been studied for decades. It can be regarded as a complex challenge, since the formation and destruction of soot involves many physical and chemical processes that are still under discussion. Modelling approaches range from rough empirical models that employ simple correlations based on experimental data to predict global soot formation characteristics. In this study a mathematical model based carbon black is formulated and implemented to a three dimensional KIVA3V-RELEASE2, a computer programme for chemically reactive flows with sprays used for simulating internal combustion engines. We wanted to create a relatively simple.

2. Soot Model

The concentration of soot in the exhaust is governed by the formation and oxidation of soot during the engine cycle. The soot model is primarily based on that of V. F. Surovikin, while the oxidation of soot particles follows the procedure of Haynes and Wagner, with rate constants from Nagle and Strickland- Constable, Amsden, A.A. (1997). The eventual soot emission from a combustion device is usually much less than the amount actually generated within. This difference arises because of the combustion of soot particles in oxygen-containing regions beyond the soot- formation zone, and is an important process. The concentration of soot in the exhaust is governed by the formation and oxidation of soot during the engine cycle.

2.1. Formation of soot

The soot model derived from Surovikin, the whole process from the moment when the hydrocarbon reaches the reaction temperature to the separation of particles of carbon black consists of three stages. First is the formation of radical nuclei. Second is the growth of the radical nuclei and their conversion to nuclei with a physical surface, on reaching a critical diameter. Third is the growth of the nuclei and their transformation into particles of carbon, Aerattukkara and Kumar (2002). First two stages of the process have a chemical nature and are due to the formation and growth of radical nuclei as a result of thermal decomposition of the molecules of the initial hydrocarbon with the splitting off of hydrogen and also the branching of nucleus formation through the reaction of the radical nuclei with molecules of the hydrocarbon. Third stage of the process consists of the interaction of the molecules of the hydrocarbon and of the radical nuclei with the extremely active surface of the growing nuclei of the carbon particles. This model is capable of predicting the total in-cylinder soot concentration and particle size distribution. (1) the formation of radical nuclei, (2) the growth of the radical

nuclei and their conversion to nuclei with a physical surface, on reaching a critical diameter and (3) the growth of the nuclei and their transformation into particles of carbon. The first two stages of the process have a chemical nature and are due to (1) the formation and growth of radical nuclei as a result of thermal decomposition of the molecules of the initial hydrocarbon with the splitting off of hydrogen. And (2) the branching of nucleus formation through the reaction of the radical nuclei with molecules of the hydrocarbon. Both these stages take place from the beginning of the process to the complete consumption of the hydrocarbon. The third stage consists of the interaction of the molecules of the hydrocarbon and of the radical nuclei with the extremely active surface of the growing nuclei of the carbon particles. The three stages shown in Fig.1. The Surovikin model equations, Bosch (2001), presented by:

$$\frac{dn}{dt} = V_n + F_n - G_n n^2 + K \quad \text{Rate of formation of radical nuclei} \quad (1)$$

$$\frac{d(D_{r-n})}{dt} = \sqrt{\frac{6}{\pi}} \frac{1}{3} G^{\frac{2}{3}} \frac{dG}{dt} \quad \text{Rate of growth of radical nuclei} \quad (2)$$

$$\frac{dV}{dt} = Z_{r-n} S_{r-n} + Z_{-n} S_{-n} \quad \text{Rate of consumption of hydrocarbon} \quad (3)$$

$$\frac{dV_{-n}}{dt} = \frac{\pi}{2} \left(\frac{D_{r-n} + D_{-n}}{2} \right)^2 \frac{d \left(\frac{D_{r-n} + D_{-n}}{2} \right)}{dt} \quad \text{Rate of growth of Particle nuclei} \quad (4)$$

$$\frac{dn'}{dt} = V_n + F_n' - G_n (n')^2 - K \quad \text{Dependence of } m(t) \text{ on } n(t) \quad (5)$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{dn'}{dt} \frac{V}{V_{-n}} \quad \text{Rate of formation of Particle nuclei} \quad (6)$$

Where: m : concentration of Particle nuclei, n' : dependence of $m(t)$ on $n(t)$, D_{nuc} : diameter of particle nuclei

2.2. Oxidation of soot

The oxidation process for the soot particles is based on the formula of Nagle and Strickland-Constable, which uses empirical rate parameters, and is based on the concept that there are two types of sites on the carbon surface available for O₂ attack. For the more reactive sites, the rate is controlled by the fraction of sites not covered by surface oxides, whereas in the less reactive sites, the reaction rate has a first-order dependence on the oxygen concentration. In this model, carbon oxidation occurs by two mechanisms whose rates depend on the surface chemistry involving more reactive A sites and less reactive B sites, Dohoy and Dennis (2001). The chemical reactions are:



The NSC soot oxidation rate IS given by:

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{M_c}{\rho_s d_s} w_s w \quad (10)$$

Where M_c is the carbon molecular weight (12 g/mole), ρ is the soot density (2.0 g/cm³), and d_s is the soot diameter (2.248*10⁻⁸m). The term w in equation (4) is the net reaction rate of reactions (7), (2), and (3) and is defined as:

$$w = \left(\frac{K_A P_{O_2}}{1 + K_A P_{O_2}} \right) x + K_B P_{O_2} (1 - x) \quad (11)$$

Where P_{O_2} is the oxygen partial pressure in atm. The proportion, x , of A sites is given by:

$$x = \frac{P_{O_2}}{P_{O_2} + (K_A / K_B)} \quad (12)$$

The rate constants used in the NSC oxidation model are given in Tab. 1.

3. Specification of engine diesel used

Measurements and modelling taken on a representative, modern, controlled diesel engine commonly found in heavy-duty trucks. With four strokes, in-line, six cylinders, turbocharged, water-cooled, direct injection, Dohoy and Dennis (2001).version of the Caterpillar 3406 are listed in Tab. 2. And the combustion chamber employs a bowl shape, Amsden and Rourke (1989), shows in Fig. 2.

4. Results obtained and discussions

The accumulation of a number of radical nuclei (RN) and their growth takes place during the induction period in the 1st and 2nd stages of the process. After the 1st radical nucleus has reached the critical diameter due to the appearance of a physical surface, the surface, the process of the appearance and growth of the particle nuclei develops. At the end of induction period, the process of the appearance and growth of radical nuclei, destruction of radical nuclei and the appearance of new particle nuclei, all take place simultaneously. The competition of the process of the growth of radical nuclei and the growth of particle nuclei is

due to difference in values of the activation energies of growth. The destruction of the radical nuclei is accelerated through the appearance of the rapidly growing surface of the particle nuclei. The kinetic characteristics of different stages of the process are shown in Fig. 5. Nucleation produces a large number of very small particles with insignificant soot loading. The bulk of solid phase is generated by surface growth, which involves the gas phase of hydrocarbon intermediates on the surfaces of the particles that develop from the nuclei. The two processes may not be separated in time and agglomeration may begin at the onset of soot nucleation. These stages of particle generation and growth constitute the soot formation process. The semi empirical formula of Nagle and Strickland gives a surface mass oxidation rate ω ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$). According to this mechanism, the reaction is first order at low oxygen partial pressures. But approaches zero order at higher pressures. At a given oxygen pressure, the rate initially increases exponentially with temperature (equivalent activation energy is k_A / k_Z). Beyond a certain temperature the rate decreases as the thermal rearrangement favors formation of less reactive B sites. When, at sufficiently high temperature the surface is completely converted with temperature. Fig. 3 shows the oxidation rate predicted by NSC as a function of temperature and oxygen partial pressure. The rate ω given by equation (5) used to estimate the amount of soot can be oxidized in specified diesel engine. In the overall soot formation process, shown schematically in Figure 1, oxidation of soot at the precursor, nuclei and particle stages can occur. The rate of consumption of the hydrocarbon consists of the loss of hydrocarbon molecules as the result of active collisions with the surface of the radical-nuclei. The hydrocarbon is converted into radical-nuclei and particle-nuclei. Fig. 4 shows the rate of hydrocarbon (C_7H_{16}) converted to soot species.

5. Conclusion

The model tested for physical behaviour of different growth species has been implemented to the full three dimensional KIVA code, version KIVA3V version KIVA3Vrelease2. The model is capable of predicting the total in-cylinder soot Concentration and particle size distribution. The phenomenological soot model developed in this work predicts temporal soot variation and the size distribution. The complete model also accounts for the creation and growth of soot particle nuclei, through the use of a fictitious soot-forming species, and particle destruction through particle-particle collisions. Finally, the cell-specific internal energies are reduced through radiative heat loss. In conclusion for this study the soot phenomenon is treated globally, incorporate the details of sooting process such as particle inception, surface growth and particle oxidation. Rate expressions are developed for each processes, the rate coefficients for each process are adjusted to match experimental data. Economical in computation, the validity of the correlations is quite uncertain for situations that vary only slightly from the

conditions where modelling parameters are calibrated, the Nagle and Strickland-Constable model is a model most accepted expression of the oxidation rate by O₂.

References

- 1- A. Amsden, P. J. O'Rourke, and T. D. Butler (May 1989). "KIVA-II: A Computer Program for Chemically Reactive Flows with Sprays," Los Alamos National Laboratory report LA-11560-MS
- 2- Amsden, A.A. (1997) KIVA-3V: "A block structured KIVA program for engines with vertical or canted valves". Los Alamos National Lab. Report LA-13313-MS.
- 3- Bosch –CviT (July 2001). "Modeling of soot formation and oxidation".
- 4- Golovitchev, V.I., and Hansson, J (September 2001). "some trend in improving hypersonic vehicles, Aerodynamics and propulsion".
- 5- Dohoy Jung and Dennis N. Assanis (2001). "Mult-zone diesel spray combustion model for cycle Simulation studies of engine performance and emissions". Society of automotive Engineers.
- 6- Aerattukkara V. Kumar, Hajime Ishii and Yuichi Goto (July 2002). "Development of a soot Module For simulating soot emission from diesel engines using a three dimensional KIVA code".
- 7- BOULOCHOS, Konstantinos (October 2002). "Simulation of combustion in a heavy duty Diesel Engine with focus on soot formation" Paper, F02V165.
- 8- Shiyong Yang (2003). "Note on the numerical Scheme for governing equations in Kiva".
- 9- Laurie PESANT (janvier 2005). "Elaboration d'un nouveau système catalytique à base de carbure De silicium (β -SiC) pour la combustion des suies issues des automobiles à moteur diesel".
- 10- Kolja Roth. (2006). "Soot Formation during the Production of Syngas from the Partial oxidation of Diesel Fuel".

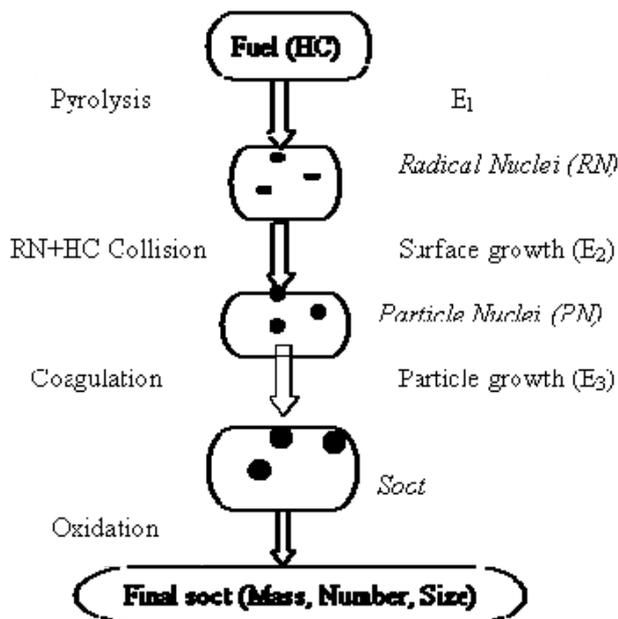


Figure 1: Phenomenological Surovikin soot model

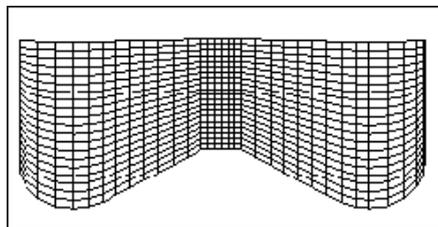


Figure 2. Bowl grid at crank= -30 BTDC

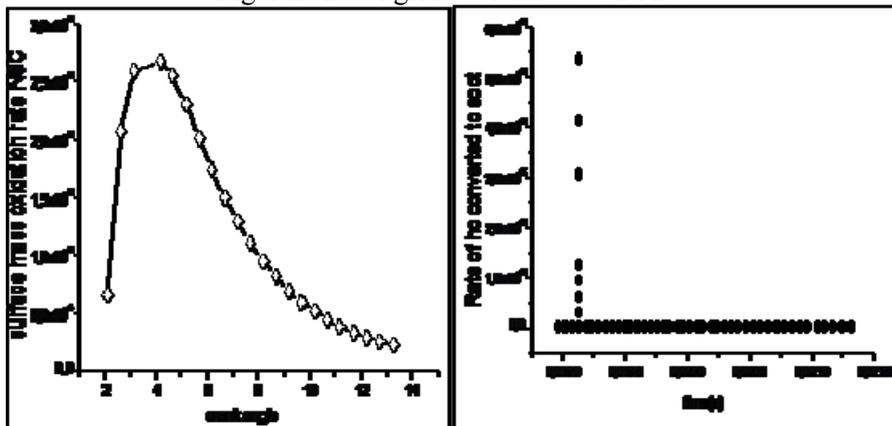


Figure 3: Soot oxidation rate

Figure 4: Hydrocarbon converted to soot

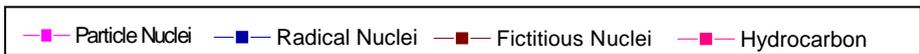
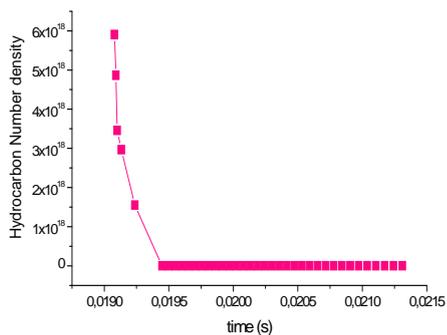
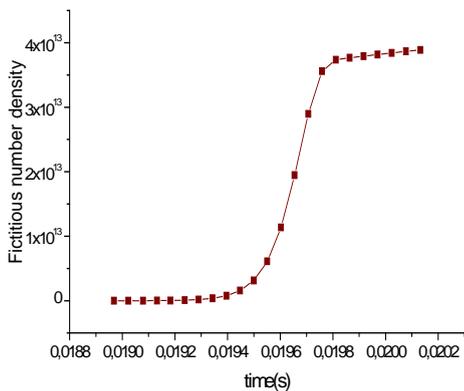
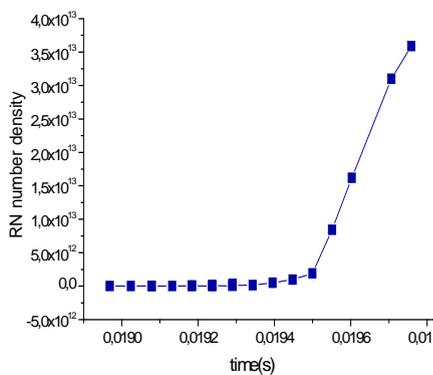
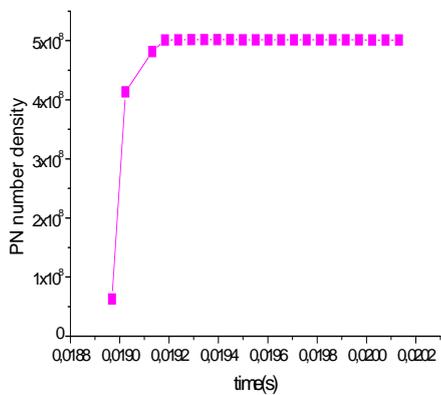


Figure 5: Surovikin soot Formation

Table 1: Rate constants for NSC soot oxidation model

Rate Constant	Units
$K_A = 20\exp(-15100/T)$	$\text{g-C/cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{atm}$
$K_B = 4.46 \cdot 10^{-3}\exp(-7640/T)$	$\text{g-C/cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{atm}$
$K_T = 1.51 \cdot 10^5\exp(-48800/T)$	$\text{g-C/cm}^2\cdot\text{s}$
$K_A = 20\exp(-15100/T)$	atm^{-1}

Table 2. Heavy duty diesel engine Specification

Parameter	Value
Bore (mm)	100
Stroke (mm)	95.5
Conrod length (mm)	169.2
Compression ratio	15 :1
Speed (rpm)	1600
Hole diameter (mm)	0 .18
Hole length (mm)	1.1
Injection timing (deg. BTDC)	11
Inlet air temperature (deg. K)	400
Inlet air pressure (MPa)	1.5

Caractérisation du parc de véhicule algérien et son usage

Boughedaoui M. ¹, Chikhi S. ¹, Driassa N. ¹, Kerbachi R. ², Joumard R. ³

¹ Université de Blida, Faculté des sciences de l'ingénieur, Blida, Algérie

boughedaoui@wissal.dz

² Ecole Nationale Polytechnique, Dépt Génie de l'Environnement, Alger, Algérie

r_kerbachi@yahoo.fr

³ INRETS-LTE, case 24, 25 Avenue Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France

robert.joumard@inrets.fr

Abstract

The work started in 1994 aims to characterize the Algerian fleet and its development with usual parameters such as the annual mileage, age and speed by type of vehicle. The methodology used is based on vehicles observation and data collection by surveys and the follow-up of cohort. Investigations are conducted regularly in various sites around the country during the years 1998, 2001, 2003, 2005. In 2003, two surveys were conducted in Blida and Algiers for measuring speeds with speedmeter for different vehicle categories. The results of the 2001 survey showed an average annual mileage of passenger cars of 24600 km and 42730 km. for light duty vehicles for all fuel types. During the two consecutive periods, 1998-2001 and 2001-2005, the rate of vehicles observed aged less than five years varies from 6 to 9%, while the administrative fleet reported 4% for both periods. The fleet observation shows the share of old vehicles older than 20 years in sharp decline from one period to another for each age group and vehicle category with an average of 0.4% per year. The parameters of survival of vehicles were used to build static and running fleets and evaluate the mileage for each category of vehicle per age class and fuel type.

Key Words: *vehicle fleet, fleet composition, mileage, age, speed, survival, Algeria.*

1. Introduction

En Algérie, le seul organisme officiel qui dispose des données du parc véhicule national est l'Office National des Statistiques (ONS). Cet organisme est chargé de la collecte, du traitement et de la publication des données du parc annuellement. Cependant, le traitement des données du parc n'est pas basé sur une analyse technique du parc mais sur des statistiques. L'ONS n'étant pas un organisme spécialisé dans le transport, il collecte et synthétise les données pour les mettre à la disposition des utilisateurs conformément à ses missions. Les données sont traitées telles que reçues de la part de ses sources primaires en provenance des 48

wilayas et des douanes algériennes. Devant cette source unique de données relative au parc automobile et les nombreuses anomalies observées lors de l'analyse du parc et de son évolution dans le temps, il est devenu impératif de développer une méthodologie non pas pour l'analyse des données de l'ONS mais pour exploiter rationnellement ces données. L'objectif de cette méthodologie est de comprendre le protocole de gestion de cette base de données et de connaître ainsi la limite d'utilisation de ces données pour une exploitation rigoureuse. Le parc de l'ONS est un parc administratif à utiliser comme un élément de base et à compléter par d'autres données pour la construction d'un nouveau parc pour les besoins de la recherche scientifique sur les transports routiers.

Le recours à d'autres sources de données est un impératif pour concevoir un parc réaliste reflétant le parc réel en circulation.

Une autre donnée de base pour la caractérisation de l'usage d'un véhicule est le kilométrage annuel des véhicules. Ce paramètre entre dans les études des infrastructures routières, de trafic par type de voirie, de calcul d'inventaire des émissions et d'estimation de la consommation de carburant.

2. Méthodologie

Devant l'inexistence de base de données, de publication ou de rapport relatifs aux données de transport en Algérie, nous avons recours à des enquêtes sur le terrain afin de collecter les données soit auprès des sociétés de transport et des administrations centrales, soit par enquête directe sur route ou auprès des automobilistes.

Cinq enquêtes sont effectuées en 1994, 1998, 2001, 2003 et 2005. Les enquêtes ont porté sur plus de 400 000 véhicules observés avec en moyenne 80 000 véhicules par enquête. Ces enquêtes ont permis de calculer l'âge du parc roulant et de déterminer le vieillissement du parc avec l'âge maximum observé des véhicules dans chaque catégorie.

Les conditions d'usage du parc de véhicules (kilométrage annuel par catégorie de véhicule et en fonction de l'âge du véhicule et du type de carburant, vitesses pratiquées par type de voie et catégorie de véhicules) sont déterminées aussi grâce à des enquêtes effectuées en plusieurs sites du territoire national en 1998, 2001, 2003, 2005. Ceci a permis non seulement de déterminer les valeurs de chaque paramètre mais aussi l'évolution de ces paramètres depuis 1998 jusqu'à 2005.

Le kilométrage annuel des véhicules a été déterminé expérimentalement par relevé du compteur sur un certain nombre d'échantillon de véhicules : relevé direct, enquête par interview, suivi de cohorte.

3. Résultats et discussion

3.1. Distribution de l'âge du parc

À travers les résultats des différentes enquêtes, les distributions d'âge des véhicules en circulation sont établies (figures 1 a, b), permettant de distinguer l'âge réel par catégorie de véhicule du parc roulant. Les résultats des enquêtes montrent l'important décalage existant entre le parc roulant et le parc administratif. Ils révèlent d'autre part la vitesse de renouvellement du parc algérien. On constate ainsi que pour pratiquement deux périodes équivalentes de quatre années consécutives, entre 1998-2001 et entre 2001-2005, le taux de véhicules observés âgés de moins de cinq ans est passé de 6 à 9%, alors que le parc administratif ne déclare que 4% dans les deux cas. Par ailleurs, l'observation du parc roulant montre clairement la part des vieux véhicules d'âge supérieur à 20 ans qui est en net déclin d'une période à une autre (selon l'année de l'enquête) pour chaque classe d'âge et catégorie de véhicule avec en moyenne 0,4%/an alors que le parc administratif ne peut en faire l'estimation et garde constant ces mêmes classes d'âge de véhicules.

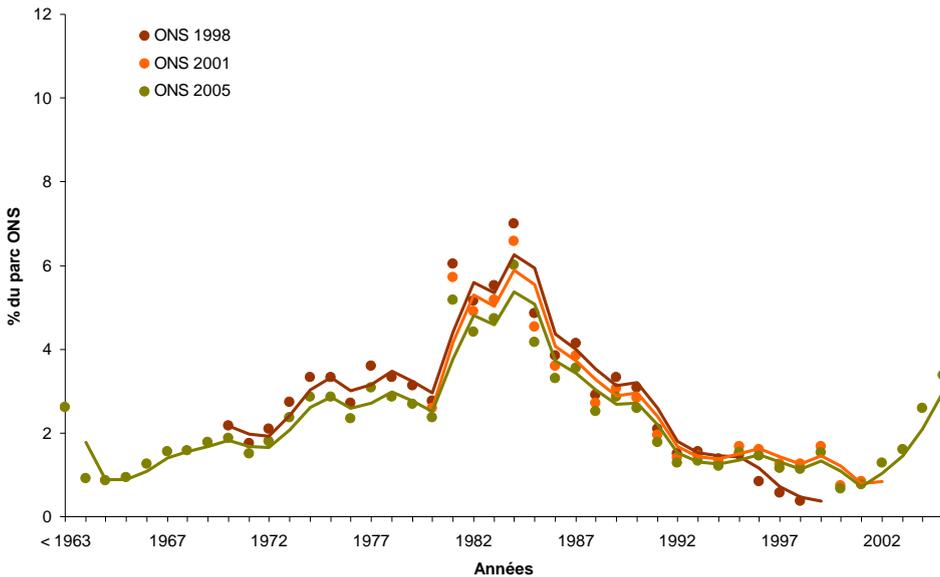


Figure 1 a : Distribution d'âge des véhicules particuliers du parc administratif de l'ONS

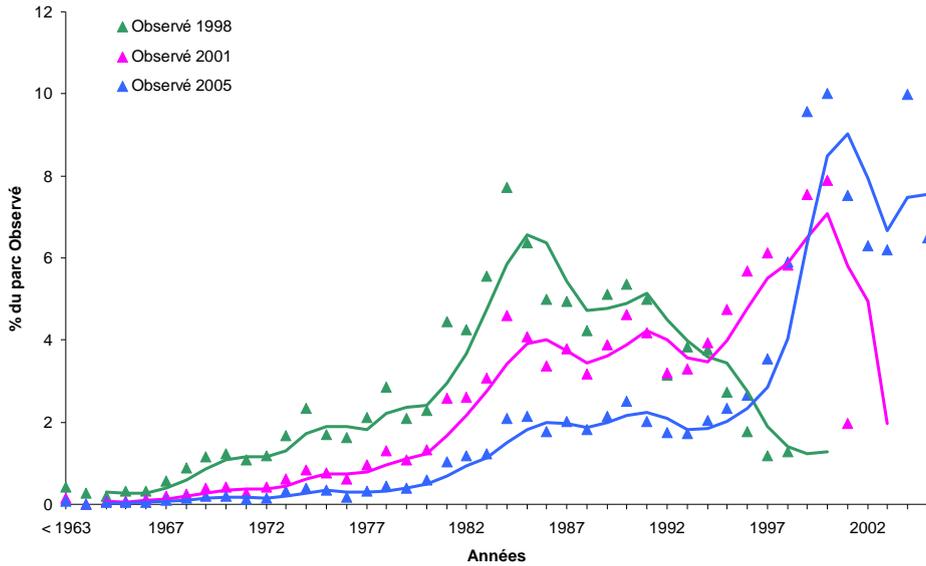


Figure 1 b : Distribution d'âge des véhicules particuliers du parc roulant déterminé par enquête

Ceci met en évidence l'écart entre le parc roulant que nous mesurons, et le parc administratif de l'Office Nationale des Statistiques. Le parc administratif de l'ONS est un parc composé des véhicules enregistrés auprès du fichier des cartes grises de l'administration, dont les données sont accessibles. Il est censé représenter le parc statique. Le parc statique est l'ensemble des véhicules existant physiquement et en état de rouler. Le parc roulant est constitué des véhicules qui roulent à un moment donné, dont on peut avoir une image caractéristique sur route. C'est le parc réellement responsable des émissions polluantes et de la consommation de carburant.

3.2. Détermination du parc roulant

Le parc roulant est calculé à partir du parc statique, lui même évalué à partir des enquêtes auprès des assurances et de l'estimation de la casse au niveau des ferrailles de plusieurs villes du pays. On montre sur la figure 2 les tendances à la forte diésélisation du parc VP algérien. L'évolution des parcs roulant et statique dans le temps jusqu'à 2025 est présentée en figure 3. Les véhicules immobilisés ne servent pas au transport, ne consomment pas de carburant et n'émettent aucun polluant lors de leur combustion. A partir du parc statique et moyennant les coefficients de survie, on calcule les parcs roulants pour chaque catégorie de véhicule. Un scénario tendanciel est établi pour estimer le parc à l'horizon 2025. Ceci permet d'estimer les émissions à cet horizon par un calcul d'inventaire. Il permet aussi d'évaluer à cet horizon les besoins en infrastructures, l'évolution de la motorisation et les différents impacts sur l'environnement.

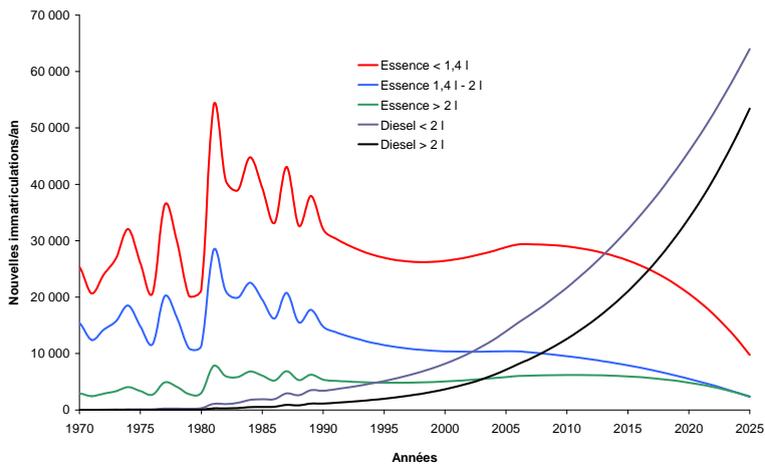


Figure 2 : Evolution des nouvelles immatriculations des VP et leur projection à l'horizon 2025.

Erreur ! Liaison incorrecte.Erreur ! Liaison incorrecte.

Figure 3 : Estimation des parcs statique ONS et roulant à l'horizon 2025

3.3. Analyse du kilométrage parcouru

La mobilité motorisée avec des véhicules particuliers dépend étroitement de la structure de la ville et de son urbanisation. La compréhension de cette relation permet une meilleure prévision de la tendance future et des choix politiques pour chaque ville (Cameron, 2003). C'est pour avoir des données représentatives de l'usage réel des véhicules en Algérie que plusieurs enquêtes sont effectuées pour la détermination du kilométrage annuel des véhicules.

Selon les enquêtes menées entre 1994 et 2003 en plusieurs wilayas à travers le territoire national, les véhicules particuliers algériens (VP) ont un kilométrage annuel moyen de 30 000 km tandis que les utilitaires légers (VUL), qui sont en général très utilisés, ont un kilométrage annuel moyen de 38 000 km pour les véhicules d'âge inférieur à 5 ans. Comme illustré en figure 4, ce kilométrage annuel moyen décroît avec l'âge, mais reste supérieur à celui des pays européens (Hickman, 1999 ; André, 1999 ; Adra et André, 2004). La durée de vie des véhicules est plus longue, avec un âge moyen supérieur à 10 ans et un niveau d'entretien et de maintenance relativement faible. Les VUL représentent 21% du parc algérien de plus de 3 millions de véhicules. Environ 79% des VUL sont de marque européenne et seulement 17% d'origine asiatique. Selon les statistiques de 2005 (ONS, 2006), l'âge du parc statique des VUL est respectivement de 17,8 et 15,4 ans à Blida et Alger.

Une nette décroissance du kilométrage (près de 17%) parcouru annuellement par les VP est observée entre 1990 et 1998, ceci est dû à la réduction des déplacements de personnes en cette période de crise sécuritaire. Par contre les catégories de taxi, de VUL et de bus ont vu leur kilométrage croître, dans des proportions variables. Cette période a coïncidé aussi avec l'émergence du secteur privé dans les transports publics.

A - Véhicules particuliers

Les résultats de l'enquête de 2001 révèlent un kilométrage annuel moyen des véhicules particuliers d'âge égal ou inférieur à cinq ans de 24 602 km. A partir de deux ans d'âge, les véhicules roulent 30946 km avec une légère diminution constatée pour les véhicules de 3 ans avec 28 507 km.

Le kilométrage des véhicules particuliers, tous carburants confondus, a connu quelques variations au cours du temps depuis 1990 ; les kilométrages annuels réalisés au cours des années 1990, 1994, 1998 et 2001 sont représentés sur la figure 4. En 1994, la moyenne annuelle était de 25 352 km/an, une diminution considérable est constatée 4 ans plus tard en 1998 où le kilométrage atteint 17 805 km/an, alors qu'en 2001, on observe une augmentation assez sensible avec une moyenne de 24 602 km/an. La chute du kilométrage durant les années 1990 est

probablement due aux conditions sécuritaires qu'a connues le pays en cette période.

Il est utile de signaler que le faible kilométrage annuel des véhicules de moins d'un an est dû au fait que beaucoup d'entre eux sont immatriculés en cours d'année et ne roulent pas une année entière.

Le kilométrage annuel des VP est affecté par l'âge des véhicules, où on constate une stabilité du kilométrage jusqu'à trois ans d'âge avec un kilométrage moyen de 33 000 km/an. Une diminution notable est constatée à partir de 5 ans jusqu'à 10 ans où le kilométrage est compris entre 20 et 25 000 km/an. Au delà de 10 ans, le kilométrage décroît nettement, atteignant 17 000 km/an à 11 ans et 12 000 km/an à 20 ans ; au-delà, les véhicules ne parcourent pas plus de 10 000 km/an.

Le kilométrage annuel des VP essence est plus faible et il varie entre 30 180 et 28 341 km/an pour les véhicules de 1 à 3 ans. Le kilométrage annuel des véhicules diesel est par conséquent plus élevé et varie entre 23 147 km/an pour les véhicules de moins d'un an et 32 000 pour ceux de 5 ans. Le plus grand kilométrage est effectué par les véhicules de 2 ans et atteint 37797 km.

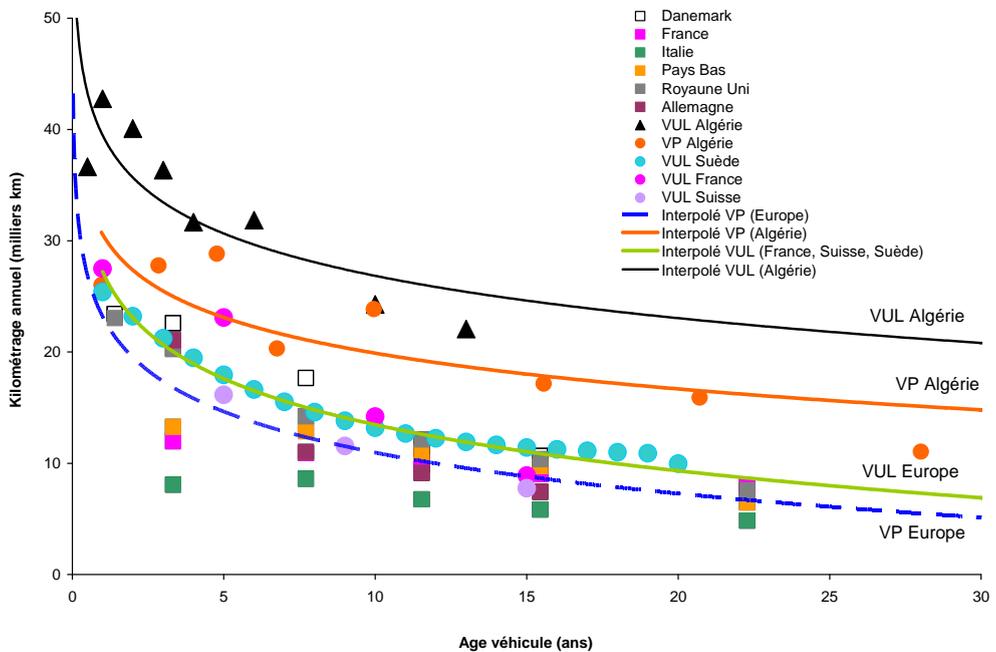


Figure 4 : Kilométrage annuel des VP et VUL selon l'âge des véhicules en 2003

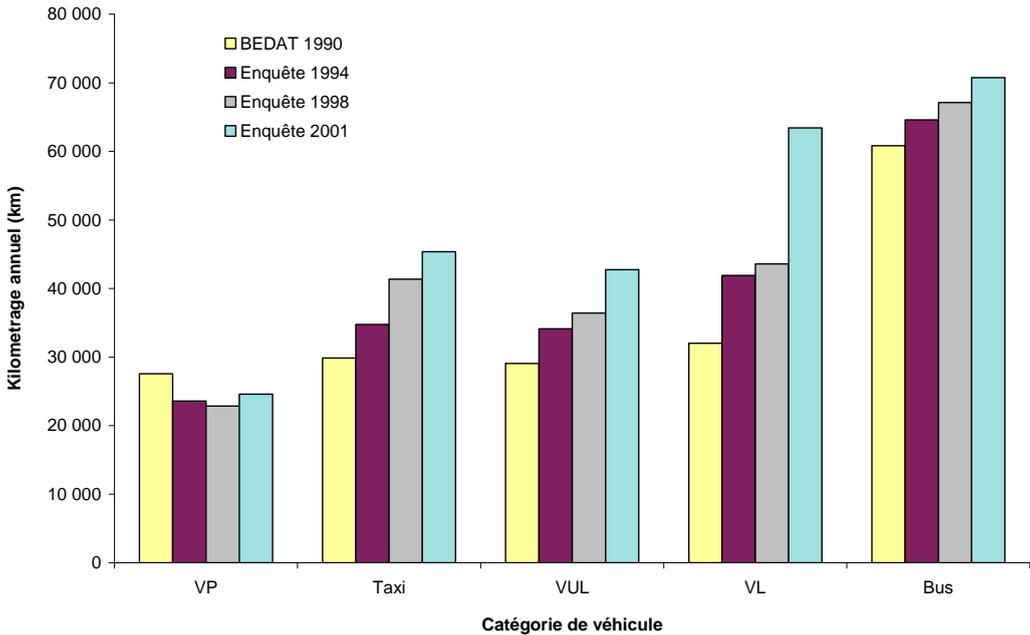


Figure 5 : Kilométrage annuel des véhicules en Algérie durant la période 1990-2001

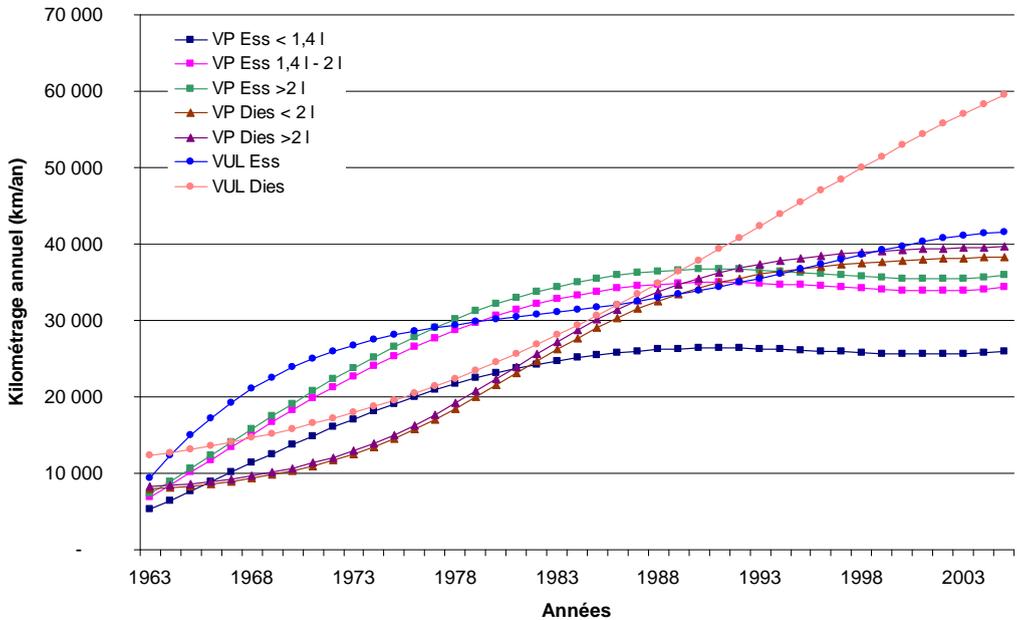


Figure 6 : Estimation du kilométrage annuel des VP et VUL par année de 1963 à 2005

On constate que les kilométrages annuels des véhicules roulant au GPL sont nettement plus importants que ceux des VP essence ou diesel. Les véhicules d'un an d'âge parcourent annuellement 43 844 km. A deux ans, le kilométrage chute à 32 185 km/an. Pour les véhicules de 3 ans la moyenne annuelle est de 37 057 km/an.

Les taxis représentent une importante flotte au sein du parc algérien et roulent dans leur majorité au GPL : on estime la part de GPL de la flotte taxi à environ 70%.

Les kilométrages effectués par les taxis sont nettement plus importants que ceux des VP en générale, le plus faible dépasse 40 000 km/an, parcourus par les véhicules d'un an d'âge. Entre 5 et 15 ans le kilométrage est compris entre 57 et 78 000 km/an. Le pic atteint 88 000 km/an pour les véhicules de 10 ans. On constate ensuite une diminution pour les véhicules de plus de 20 ans, mais dont le kilométrage reste encore important et varie entre 43 et 47 000 km/an.

B - Véhicules utilitaires

Les véhicules utilitaires légers tous carburants confondus d'un an d'âge ont un kilométrage annuel moyen de 42 727 km. Les véhicules de 2 ans ont un kilométrage de 40 027 km/an, puis le kilométrage diminue encore pour atteindre 36 230 km/an pour les véhicules de 3 ans et atteint 31 389 km pour les véhicules de plus de 4 ans.

On remarque pour les utilitaires que les kilométrages annuels effectués sont nettement plus grands que ceux des véhicules particuliers et que l'effet de l'âge apparaît plus rapidement. L'explication réside dans le fait que ce sont des véhicules très sollicités de par leurs usages commerciaux et industriels. En effet, ce genre de véhicule supporte des charges variables et très fréquentes, ce qui accélère leur usure.

Le kilométrage annuel moyen des VUL essence est de 41 380 km alors que le kilométrage est de 55000 km à l'âge de 2 ans et n'est que de 20000 km à 14 ans. Lors de l'enquête, nous n'avons cependant rencontré que très peu de véhicules utilitaires essence d'âges inférieurs à 3 ans. Leur nombre ne dépasse pas 100 véhicules, ce qui confirme la tendance à la diésélisation des VUL mais aussi qui limite la représentativité de notre échantillon vis-à-vis de cette sous catégorie de véhicules.

Le kilométrage annuel moyen des VUL diesel est de 58 348 km et est de 41 073 km pour les véhicules d'un an. Il chute progressivement à 40292 km/an pour ceux de 2 ans pour atteindre respectivement 37370 et 36230 km/an pour les véhicules de 3 et 4 ans. Un nombre important de VUL d'âge supérieur à 5 ans qui utilisent l'essence sont présents dans le cas du parc automobile algérien. Cette tradition de l'utilisation du carburant essence vient du fait des bas prix de ce dernier avant

1990. Une nette tendance vers la diésélisation des VU est constatée actuellement qui pourrait inverser la tendance de kilométrage à l'avenir.

Par ailleurs, la technologie des moteurs diesel est peu maîtrisée en Algérie à l'échelle des garagistes pour assurer la maintenance de ces véhicules.

C - Camions

Le kilométrage annuel moyen des camions est de 63 425 km. Ceux de moins d'un an roulent plus de 32 146 km/an, suivis par ceux de 1 an qui parcourent un peu plus de 53 000 km annuellement. Les camions de 3 ans atteignent 49 604 km/an. Après cet âge, par extrapolation en l'absence de données, la tendance fait que le kilométrage augmente encore jusqu'à 5 ans, dépassant les 80 000 km/an, pour ensuite se stabiliser. Et à partir de 12 ans les kilométrages sont en diminution régulière pour atteindre près de 43 224 km/an pour les camions de 17 ans.

Cette catégorie de véhicules effectue de très grands kilométrages et ont une durée de vie plus importante. Ceci est peut être dû au fait que la plupart de ces véhicules lourds appartiennent à des sociétés ou particuliers qui assurent une maintenance et un entretien de leurs camions.

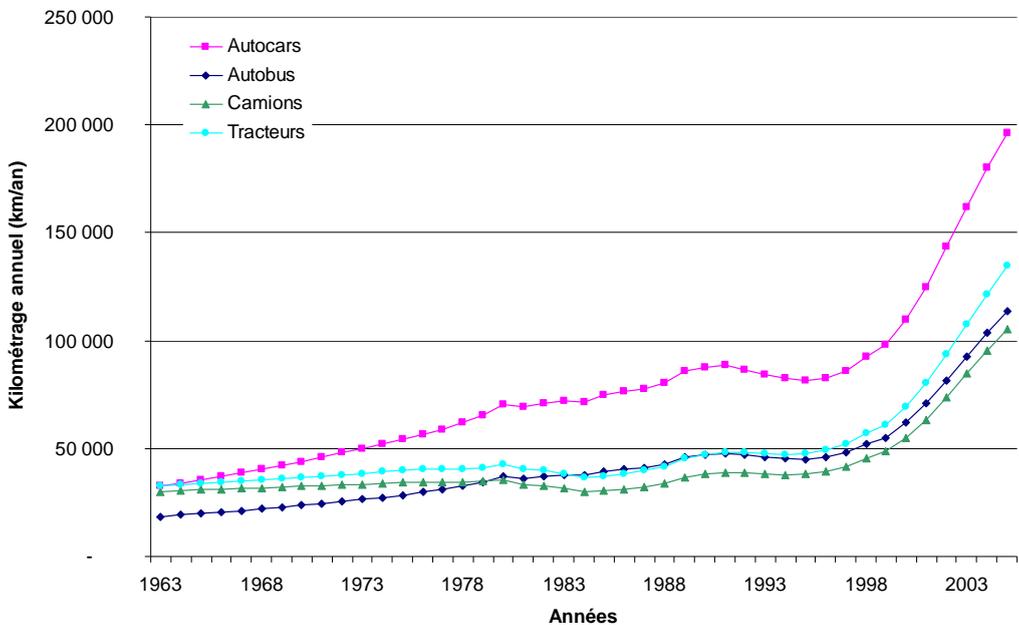


Figure 7 : Estimation du kilométrage annuel des camions, tracteur, bus et car de 1963 à 2005

4. Conclusion

L'analyse du parc véhicule algérien est effectuée sur la base de nombreuses enquêtes de terrain et l'analyse des données en provenance de multiples sociétés de transport routier et de distribution de carburant. La méthodologie suivie consiste à effectuer des sondages sur le terrain pour avoir des données réelles, et non pas en un calcul, afin de réduire les incertitudes et obtenir des données du parc réel en circulation. L'étude a porté essentiellement sur cinq catégories de véhicules existant en Algérie, à savoir : les véhicules particuliers, les camions, les véhicules utilitaires, les transports en commun et les tracteurs routiers.

La détermination des paramètres de survie a permis de construire les parcs statique et roulant algériens selon l'âge et le type de carburant.

À partir des enquêtes effectuées, on aboutit à un parc roulant d'environ 3,2 millions de véhicules dont 60% sont des véhicules particuliers avec un âge moyen du parc de 11,4 ans et un taux de diésélisation de 25%.

Parmi les paramètres d'usage du parc citons le kilométrage annuel qui a été déterminé pour chaque catégorie de véhicule et par classe d'âge de véhicules. Les résultats de terrain renseignent sur les trajets parcourus par les différentes catégories de véhicules de 1994 à 2005 en Algérie. Les véhicules particuliers roulent le moins, avec en moyenne 25 000 km/an, suivis des véhicules utilitaires légers qui parcourent annuellement 43 000 km, puis des camions avec 63 000 km/an. Les tracteurs routiers effectuent près de 78 000 km/an. Ce sont les transports en commun qui roulent le plus avec 153 000 km/an. Cette étude a mis en évidence, quelque soit la catégorie de véhicule ou le type de carburant utilisé, l'influence de l'âge sur le kilométrage parcouru. Cependant, il est à noter que les véhicules roulant en Algérie effectuent des kilométrages plus importants et avec des véhicules âgés, l'âge moyen étant de 10 ans toute catégorie de véhicules confondues, comparés à ceux roulant dans les pays européens. Enfin le kilométrage annuel moyen tous véhicules confondus est de 26 874 km.

La poursuite des enquêtes et de l'observation du parc est un gage de valorisation de la base de données existante et de son développement, qui donnera lieu à un suivi de l'évolution du parc roulant algérien et permettra l'adaptation du parc ONS et une amélioration des estimations des émissions de polluants et de la consommation de carburant.

Références

- 1- Adra N., André M., 2004. Analysis of the annual mileage of road vehicles: statistics and trends. INRETS report, n°LTE 0421, Bron, France, 72 p.
- 2- André M., B. Garrot, Y. Roynard, R. Vidon, P. Tassel and P. Perret, 2005. Operating conditions of buses in use in the Ile-de-France region of France for the evaluation of pollutant emissions, Atmospheric Environment, Volume 39, Issue 13, 12th International Symposium, Transport and Air Pollution, April 2005, Pages 2411-2420.

- 3- André M., Hammarström U., Reynaud I., 1999. Driving statistics for the assessment of air pollutant emissions from road transport. INRETS report, LTE 9906, Bron, France, 191 p.
- 4- André M., and A. Villanova, 2004. Characterisation of an urban bus network for environmental purposes, Science of The Total Environment, Volumes 334-335, Highway and Urban Pollution, 1 December, Pages 85-99.
- 5- Adra N., André M., 2004. Analysis of the annual mileage of road vehicles: statistics and trends. INRETS report, n°LTE 0421, Bron, France, 72 p.
- 6- André M., B. Garrot, Y. Roynard, R. Vidon, P. Tassel and P. Perret, 2005. Operating conditions of buses in use in the Ile-de-France region of France for the evaluation of pollutant emissions, Atmospheric Environment, Volume 39, Issue 13, 12th International Symposium, Transport and Air Pollution, April 2005, Pages 2411-2420.
- 7- André M., Hammarström U., Reynaud I., 1999. Driving statistics for the assessment of air pollutant emissions from road transport. INRETS report, LTE 9906, Bron, France, 191 p.
- 8- André M., and A. Villanova, 2004. Characterisation of an urban bus network for environmental purposes, Science of The Total Environment, Volumes 334-335, Highway and Urban Pollution, 1 December, Pages 85-99.
- 9- Hickman, A.J., Hassel D., Joumard R., Samaras Z., Sorenson S., 1999. MEET – Methodology for calculating transport Emissions and energy Consumption, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-828-6785-4, 362 p.
- 10- Office national des statistiques (ONS), Données statistiques du parc automobile, Alger, 2006.
- 11- Office national des statistiques (ONS), Rapport sur les comptes économiques, Alger, 2007. (www.ons.dz) .

Développement spatial et transport à Annaba

Nacima HACINI,
Université BADJI Mokhtar Annaba, Faculté des Sciences de la Terre.
E-mail :chikhnassima@yahoo.fr

Abstract Annaba: Space development and transport

Annaba, like the other large Algerian cities, knew a surface increase which is explained by a greater mobility, in link with the increase of the automobile park. This is a result of the authorized broad access to the particular vehicle. However, our assumption is to consider that the increase of the automobile park does not determine a space development. It is generally allowed that Annaba has good inter-urban infrastructures but certain districts are not served and others still function on the under-dimensioned colonial infrastructures. This seminar will enable us to give a progress report on this question and to raise, by the same occasion, the ambiguity relating to the concept of urban spreading related to the increase of the displacement ways, that were too easily adopted. Our approach will consist to refer to comparative standards for defining the type of relation between the rhythms of space expansion and the increase of the automobile park. Our investigations rest on two tools: Evolution of the urbanization and of the road infrastructures through three times starting from documents such as the PDAU (master line of urbanism); Statistics of the growth of the automobile park, elaborated from the examination of the automobile licenses file and the computations carried out by the engineering and design departments on behalf of the wilaya (Algiers subway...).

Key-Words: urban spreading out, mobility, displacements, Automobile Park

1- Présentation de la ville d'Annaba

Annaba est une ville côtière de l'Est de l'Algérie appelée 'bled el Unnab ' ou ville des jujubes, sa position du site en rapport avec la méditerranée serait à l'origine de la naissance du premier établissement de sédentarisation vers le XIIe siècle avant J-C, depuis ce fut une ville parcourue par trois intervalles : l'empire carthaginois et romain et l'empire numide ; au début du XI e siècle la ville antique est abandonnée pour un nouveau site à 3km au nord du premier la ville Bouna El Haditha' les sanhadjas qui la fondent en font un poste de défense et de surveillance de cette double frontière terrestre et maritime et va être un port d'échanges commerciaux ville gardée par les muwahidines (XIIème siècle), les Hafside (XIIIe au XVe siècle) les deys (XVIe au XIX e siècle), puis investie par la colonisation française en 1832. Donc le site a été parcouru par différentes époques et par la suite une ville qui a été traversé par différents âges (Gabriel Dupy) La ville piétonne, la ville des transports en commun, la ville actuelle appelée ville automobile.

2 -Evolution de la ville à travers les trois âges

La première ville est caractérisée par une ville dense La Ville Pédestre traditionnelle (Traditional Walking City), très dense, s'étendant sur un rayon maximum de 5 kilomètres. La marche à pied étant le premier mode de transport possible, l'espace urbain s'est donc structuré à partir de ce mode Emplois et résidences

sont mêlées. Si nous reprenons la vieille ville d'Annaba ou « la partie haute de la ville », la ville compacte ou se concentrait l'habitation ainsi que toutes les activités urbaines tout en séparant les deux afin de ne pas déranger la fonction résidentielle. Le cadre urbain est fortement marqué d'une empreinte religieuse structurante, la trame urbaine et son enchevêtrement de ruelles sinueuses et hiérarchisées, permettant de respecter l'intimité de l'espace privé et de l'individu. La croissance urbaine s'effectuait par une densification horizontale et verticale, jusqu'à atteindre les limites du confort mesuré par la capacité technique d'approvisionnement en eau. La taille de la ville est impérativement limitée pour des raisons de sécurité, de proximité de gestion et la maîtrise des déplacements (cf. fig. 1). Dans la plupart des médinas le rayon d'accessibilité piétonne est maintenu à 400m maximum. Berezowka-Azzag E (2005). Certains aspects de la situation des transports dans les pays en développement comme les rues piétonnes des médinas, (...) la part essentielle de la marche à pied dans d'autres, peuvent être perçues comme de fâcheux vestiges du passé ou des conséquences malheureuses du sous-développement. Elles peuvent être aussi considérées comme exemplaires au niveau mondial Joumard R (2005).

La deuxième époque fut la période coloniale et qui constitue le point de départ d'une accélération du processus d'urbanisation, il a fallu donc détruire les murs d'enceinte pour s'étendre sur des faubourgs. En 1845 a commencé l'extension réelle de la ville d'Annaba avec la naissance d'une ville extension de la vieille ville avec des rues permettant l'accès à la voiture (cf. fig. 2 et 3), on pourrait dire une extension moderne de la ville, la ville abandonne et dépasse sa forme antérieure caractérisée, architecturalement, par la présence des murs urbains, ou il n'y a plus un dedans et un dehors, mais un centre et une périphérie Chabbi N et coll. (2003). Naissance donc d'une ville européenne sur un plan ordonné avec des artères rayonnantes; Lancement d'un réseau de chemin de fer et construction de la ligne Annaba Guelma; construction de nouveaux quartiers. Le développement de cette ville s'est accéléré après la promulgation de la loi qui créa le département de Bône le 13 août 1955.

La ville d'Annaba possédait les moyens de déplacements, un aéroport, un port important, ainsi qu'une industrie florissante et d'un réseau téléphonique important qui fut d'elle une ville encore plus attractive. Il y a eu réalisation de nombreuses voies qui jusqu'à nos jours assurent la circulation automobile ou du transport en commun donc la ville pédestre d'antan se métamorphosa en ville assurant des déplacements routiers.

Quant à La période post indépendance, elle se manifesta particulièrement par la construction du complexe sidérurgique d'El Hadjar situé à une quinzaine de kilomètres du centre ville d'Annaba rattrapé puis dépassé par l'urbanisation vu le nombre de la population affluant vers la ville pour l'emploi (le nombre d'emploi recensé 1980 était supérieur à 16000) ou pour l'amélioration du mode de vie. La crise de logement s'instaura et en peu de temps, de nouvelles ZHUN (zones d'habitat urbaines nouvelles) vers les années 1970-1980, à ce type d'intervention succéda un autre type celui des lotissements situés au niveau de la commune ou en périphérie. L'évolution urbaine induite par l'automobile l'a rendue indispensable au fonctionnement de la ville. Marc Wiel (2002). On aboutit donc à un développement de l'agglomération urbaine d'Annaba constituée du chef lieu de wilaya et les petites localités périphériques le long des principaux axes de communication vers l'espace extérieur. La liaison entre ces communes est accompagnée par le développement du réseau routier, en imposant les déplacements motorisés par une timide tentative de développement du transport en commun en faisant appel à l'investissement privé puis avec la généralisation de l'automobile. La commune d'Annaba enregistre un flux assez important de personnes transitant en particulier vers ce centre qu'est le centre ville. Plusieurs facteurs participent grandement à la mobilité l'habitat, la scolarité et en particulier l'emploi.

3 - Ville actuelle

De nos jours on retrouve une ville automobile, Comme pour les cartes grises le taux de croissance annuel ne fait qu'augmenter d'année en année surtout entre l'année 2002 et 2003 ou le taux augmente considérablement de 0,92 il passe à 3,57. En 2005 Le véhicule de tourisme est de 68% par rapport aux autres modes de transport. Par rapport aux autres wilayas algériennes Annaba est classé deuxième après la capitale, avec 94 voitures particulières pour 1000 habitants et dépasse largement Constantine et Oran qui sont respectivement de 79 et 81 voitures pour 1000 habitants. Semaly – Transurb (2007). La voiture demeure le produit technologique le plus libérateur et le plus désiré du siècle une icône culturelle irrésistible qui offre prestige et statut Rogers R (1997).

La ville est structurée autour d'un centre principal, le centre ville. Le centre ville convoité par le citoyen, ainsi que par l'aménageur est l'espace le plus fréquenté de la ville. L'espace central de la ville ne prend pas en charge uniquement la population d'Annaba mais aussi les populations des agglomérations limitrophes, toutes les activités y sont présentes de commerces, présence de marchés (marché El Hattab) présence de bureaux, présence de stations de taxis, présence de station de transport en commun (Souidani Boudjema). Les taxis, les transports en commun, les voitures particulières tous démarrent, circulent au niveau du centre ville sur une voie à un seul sens d'une largeur de 2m avant d'atteindre leur destination. Des quartiers nouveaux le cas de la cité Val Mascort, un vieux pont datant de l'époque coloniale de dimension disproportionnée par rapport à la lourde tâche qui lui est incombée, celle de desservir un quartier résidentiel non desservi par le transport en commun vu l'étroitesse de ce vieux pont qui reçoit quotidiennement un nombre assez important de voitures.

Conclusion

La limitation de l'usage de l'automobile à travers la maîtrise de l'étalement et de la mobilité est une condition nécessaire de la durabilité des villes. Un système de déplacement qui repose de plus en plus sur l'automobile est loin de satisfaire les exigences d'un développement urbain viable.

Le développement des transports collectifs attractifs est actuellement la solution la plus convaincante, bus, métros et tramway est une nécessité pour protéger l'environnement et préserver la qualité de l'air et de la vie en milieu urbain. De même que freiner l'utilisation des moyens de transport privés et réduire les distances parcourues ne signifie pas développer les transports publics ou rajouter des voies. Et la question que l'on pourrait rajouter est :'' Les villes habitées par des millions d'automobilistes ressembleront –elles encore aux villes d'hier et même à celles d'aujourd'hui ?'' Dupuy G (1995).

Références

Berezowka-Azzag E, (2005), In Revue : Vies de Villes "habiter mieux, habiter autrement" n°2, pp 42 - 46

Chabbi N et O Menouar (2003). In Revue "Villes en parallèle, villes algériennes", n°36, 37, p 213

Richard R. In "des villes pour une petite planète" p57

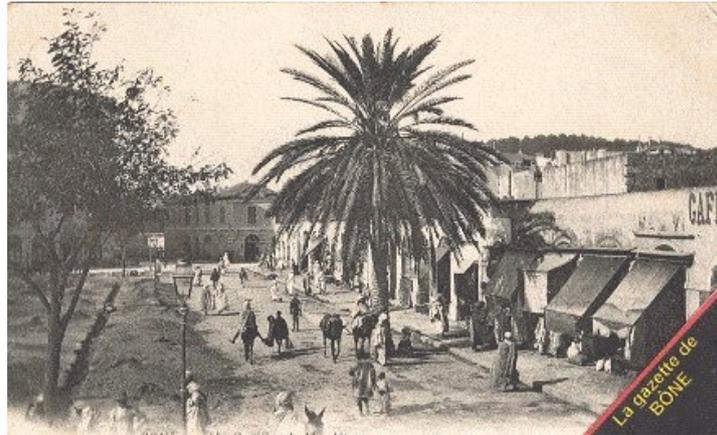
Dupuy G, (1995). In "l'auto et la ville", Dominos Flammarion, p110

Joumard R(2005). In "Développement durable et transports" Alger, Algérie 27 Juin 2007 INRETS, Laboratoire Transports et Environnement

Kaufman V., F.Sager., Y.Ferrari, D. Joye (2003). In "coordonner transports et urbanisme". Presses polytechniques et universitaires romandes, p17

Semaly – Transurb / Technirail. In "étude de faisabilité de la première ligne du tramway d'Annaba" ; étapes 1-2-3 : enquêtes- diagnostic-, choix de tracés et modes". p 34

Wiel M (2002). In "ville et automobile". Descartes et Cie éd, p 16



Figures 1 et 2 : les déplacements s'effectuaient à pied ou à dos de mulet ; à l'époque coloniale il y a eu l'introduction de la voie mécanique et donc de l'automobile

Figures 1 and 2: The displacements are pedestrian or on dunces; Colonial time - Introduction of the mechanical way and thus of the car

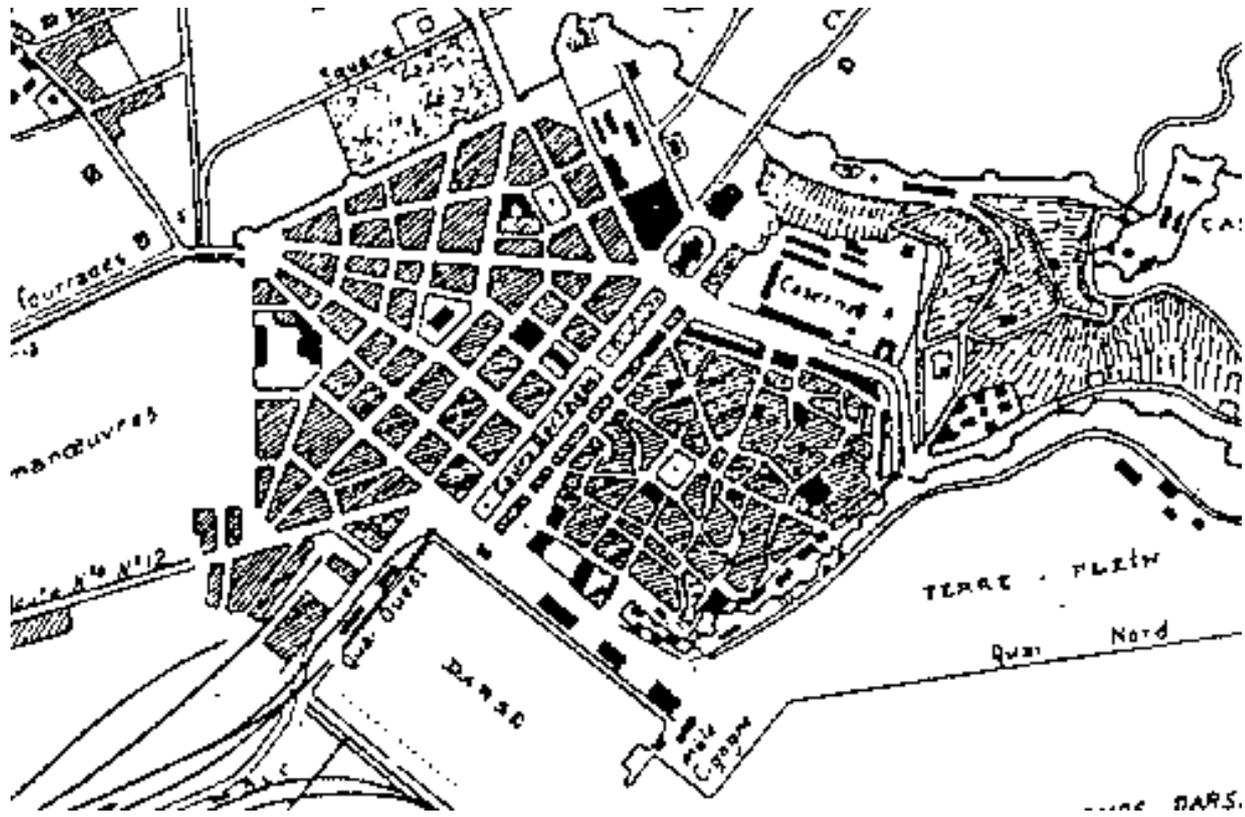


Figure 3 : Forme urbaine dissuadant la circulation piétonne -vienne ville – Forme urbaine dissuadant la circulation motorisée –ville coloniale

Figure 3: Urban form dissuading pedestrian circulation - old city – urban Form dissuading motorized circulation – colonial city

Urban transport and poverty patterns in selected Islamic countries

Manouchehr Vaziri * & Neema Nasseer **

* *** Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology
Azadi Avenue, Tehran 14588, P.O. Box 11365-9313, Iran
Tel.: +98-21-22282507, Fax: +98-21-22284311, Email:
manouchehrvaziri@yahoo.com

Abstract

The objective of the study reported herein was to shed some light on transport and poverty patterns for some selected urban areas, in Islamic countries, during the last decade. In order to facilitate the urban poverty eradication, the study is an attempt to provide clues and empirical evidences of the possible interrelationships between urban transport and urban poverty. Using centralized databases of international agencies, for the period of 1993 to 1998, for a set of Islamic cities, urban information pertinent to transport and poverty was collected. The study database consisted of information regarding population, poverty, travel behaviour and other pertinent social, environmental and economic attributes of the selected urban areas. The database univariate statistical analysis provided clues on data validation and completeness. Due to data inaccessibility, incompleteness and missing, around one-third of the original set of cities were screened and selected for final detailed analysis. The multivariable statistical analyses for the finally selected cities showed interesting results and relations in connection with urban transport and urban poor, and facilitated mathematical modelling. For the period of 1993 to 1998, elasticity's of urban poverty with respect to urban transport were developed. The elasticity's provided further clues into urban transport and urban poverty trends, and were used in taxonomy of the Islamic urban areas. The appraisal of developed elasticity's reflected considerable time-series variations during the 6-year period of 1993 to 1998. To support urban sustainable development, the study corroborated the significance of urban transport intervention challenges if they are expected to play proactive roles in urban poverty reduction and alleviation.

Keys-words: transportation, urban sustainable development, poverty eradication, and Islamic countries.

1. Introduction

Urban transportation sustainable development entails distributional and social equity. Social and distributional needs are met by ensuring a fair distribution of

resources and poverty reduction. The United Nations Millennium Declaration of year 2000 encompasses several goals including eradication of extreme poverty and hunger. The Millennium Declaration Goals pledge especial attention for poverty alleviation in development policies and projects. Poverty is a multidimensional and fuzzy concept, portraying the lack of the economic, social and cultural means necessary to procure acceptable levels of living and liveliness. Locally defined poverty line or low-income line, often have been deployed to ascertain population breakdown of the poor. Transportation is a key sector for economic and social development, providing mobility and accessibility. Transportation should provide services for all social groups. Transportation projects in general affect various income groups differently; nonetheless, they should accomplish a balance between economic growth and social justice, especially in reduction of the number of poor households. Inadequacy of access and mobility is a signifying attribute of the poor, penalizing them from economic and social opportunities (Gannon & Zhi 1997; UNESCAP 1999). The existing level of understanding of the relationships between poverty and transportation is very limited and the methods for addressing transportation problems of the poor are severely underdeveloped.

In urban areas, economic and social activities are to a large extent more spatially concentrated than in rural areas. The intense time and location proximity of interactions require more distinctive cyclic behaviors, often on daily basis, and entailing efficacious urban transportation. The intensive proximity of activities makes non-motorized transportation occasionally an optimal and viable alternative for urban short trip. Inadequacy and inability to access urban jobs and services are imperative ingredients of the social exclusion that define urban poverty (Peng 2005).

Transportation plays a pivotal role in rural vivacity and welfare. The rural poor often have extremely limited mobility beyond their immediate settlement due to geographical isolation and the high cost of motorized transportation. Indeed, in many rural communities, lack of access or feeder roads has often been recognized as the main cause of inadequate and scarce earnings (Cook 2005).

The last five decades of population, urbanization and economic growths have resulted in unprecedented motorization of transportation. Many harmful effects including social inequalities, congestion, safety, pollution and non-renewable resource depletion, have accompanied the extraordinary rise of motorization. Several studies have concluded that special user groups of the poor, the young, the elderly, the careles and the handicapped suffer serious accessibility and mobility disadvantages from not being adequately served by the vast automobile-based urban transportation systems (Vaziri 1986). In many cities, urban poor cannot afford private cars or motorcycles; on the other hand, they bear unfair shares of motorized urban transportation adverse effects (Barter 1998).

This paper describes an attempt to use time-series information for a comparative macroscopic urban study to establish possible relationships between poverty and transportation in Islamic countries. The objective of the study reported herein was to shed some light on transportation and poverty patterns for urban areas, during the last decade. The study provided some clues and empirical evidences of the possible interrelationships between urban transportation and urban poverty. The study time-series database consisted of 10 variables, covering a 6-year period of 1993 to 1998. For the Islamic country's urban areas, pertinent aggregate urban statistics were extracted from centralized data sources of international agencies (UNHabitat 2004). After database preliminary statistical analysis, due to data inaccessibility, incompleteness and missing values, 33 urban areas were selected for detailed analysis. Transportation projects typically affect various income groups differently; nonetheless, they should accomplish a balance between economic growth and social justice, especially in reduction of the number of poor households. This study is a small step toward grasping the possible relationships between poverty and transportation to facilitate poverty reduction via better transportation decision-making.

2. Database

The limited study resources confined the data collection to information gathering from the international databanks. The data reliability bore the assumption that for the accessible databases, definitions were similar and comparable through time and among urban areas. For the period of 1993 to 1998, urban information pertinent to transportation and poverty were collected for 86 cities throughout the world (UNHabitat 2004). For the years 1993 and 1998, information for 61 and 58 urban areas were accessible and extracted, respectively. The process of data refinement and screening included several stages of statistical analyses, and showed many missing values.

The final study database consisted of 10 aggregate variables for 33 urban areas, which are listed in table1, with their pertinent country. They were the intersection of the 61 and 58 urban areas having information for 1993 and 1998, respectively. The study database variables are described in Table 2. Five variables are pertinent to urban poverty and the other five are pertinent to transportation, and specifically, to urban work trips. Urban travel demand is structured for different trip purposes separately. In transportation analysis, the demand variables describe the social and economic activities that give rise to transportation needs; the supply variables describe different aspects of the cost and level of service by which such need might be met.

The univariate statistical analysis of the database shed light on the database cross-sectional and time-series variability. The analysis covered computation of statistics such as minimum, maximum, mean, standard deviation and coefficient

of variation, as summarized in Table 3. For example, DUPOP93 presents the urban area total population in 1000 persons for year 1993, and Δ DUPOP presents the change in total population from 1993 to 1998. For each variable, the table shows number of valid cases from the 33 urban areas and their statistics for 1993 and 1998. It also shows the number of cases and statistics for variable changes during the 6 years. For Table 3, the average number of valid cases was 20.14, presenting 39% missing information. More than 86% missing information for the Δ SPPWH, the change in percent women headed households below poverty line from year 1993 to 1998, was extensive, and curtailed its pertinent statistical analysis. The study database showed significant cross-sectional variability as reflected by the coefficients of variation in range 0.33 to 3.12, and average value of 0.95. For 1993 and 1998, TPUTT, percent work trips with train or tramway, showed largest coefficient and EPEIE, percent population employed in informal sector, showed smallest coefficients of variation among urban areas.

The variables changes designated by “ Δ ”, showed higher time-series variability as reflected by the coefficients of variation in range 0.81 to 20.46, and average value of 4.5. For each variable, Table 3 reflects mixed variation among urban areas, growths for some and reductions for others, confirmed by negative minimum values and positive maximum values, respectively. The variables that on the average showed growth were DUPOP, TPUPM, TPUTT and TPUBM, reflecting growths in urban population, percent work trips with motorized private vehicle, percent work trips using train or tramway and percent work trips using bus or minibus respectively. The variables that on the average showed reduction were SPPHH, SPPWH, ECPPC, EPEIE, TTTWT and TPUNM, reflecting reductions in percent households below poverty line, percent women headed households below poverty line, city production per capita, informal employment, work trip duration and percent work trips using non-motorized modes, respectively. The coefficient of variations reflected high cross-sectional and time-series variability among the 33 urban areas, reflecting undesirable trends for some.

The study database univariate analysis showed significant cross-sectional and time-series variability, as was reflected by the coefficients of variation. The missing information was significant for some variables, especially for variable reflecting percent women headed households below poverty line. The interpretations of the univariate statistical analysis were encouraging for several variables. Growths for percent work trips with bus or minibus and train or tramway has been accompanied with reduction in percent women headed and total households below poverty line and average work trip travel time.

3. Correlation analysis

To develop an understanding of the interrelationship among the database variables, pair-wise correlation analysis was performed. The results of correlation

analysis are summarized in Tables 4 and 5. The second column of Table 4 shows the results for year 1993 when the original 61 urban areas were used. The table's third column shows the results for year 1998 when the original 58 urban areas were used. Table 5 summarizes the results when the finally selected 33 urban areas were used. For example, the cell belonging to the first row and the second column of Table 4 shows that for year 1993, when the original 61 urban areas were used, DUPOP, total population, was significantly and positively correlated with TTTWT, average travel time for work trips and TPUBM, percent work trips using bus or minibus. For 1993 and the original 61 urban areas, the 10x10 correlation matrix showed that, on the average and at the level of significance 0.05, a variable was 24.45% significantly correlated with other variables, as reflected by the second column. For 1998 and the original 58 urban areas, the 10x10 correlation matrix showed that, on the average and at the level of significance 0.05, a variable was 15.56% significantly correlated with other variables, as reflected by the third column. In Table 5 For 1993 and 1998, for the finally selected 33 urban areas, the size of the 20x20 correlation matrix again prevented their display herein. The matrix revealed a number of interesting patterns. Several pairs of variables were found correlated at the level of significance 0.05. Based on the 20x20 correlation matrix, on the average and at the level of significance 0.05, a variable was 18.94% significantly correlated with the other variables, as can be confirmed by number of entries for the second and third columns.

The second row of Table 4 shows significant correlations for SPPHH, percent households below poverty line. For 1993 and the original 61 urban areas, SPPHH, percent households below poverty line, was positively correlated with SPPWH, percent women headed households below poverty line and TPUTT, percent work trips using train and tramway; and negatively correlated with ECPPC, city product per capita and TPUPM, percent work trips using motorized private vehicle. For 1998 and the original 58 urban areas, SPPHH, percent households below poverty line, was positively correlated with SPPWH, percent women headed households below poverty line and negatively correlated with TPUPM, percent work trips using motorized private vehicle. For the finally selected 33 urban areas, SPPHH93, percent households below poverty line in year 1993, was positively correlated with SPPWH93, percent women headed households below poverty line in year 1993, EPEIE93, informal employment in year 1993, SPPHH98, percent households below poverty line in year 1998, SPPWH98, percent women headed households below poverty line in year 1998 and TPUNM98, percent work trips using non-motorized mode in 1998; and negatively correlated with ECPPC93, city production per capita in 1993. For the finally selected 33 urban areas, SPPHH98, percent households below poverty line in year 1998, was positively correlated with SPPHH93, percent households below poverty line in year 1993, SPPWH93, percent women headed households below poverty line in year 1993, SPPWH98,

percent women headed households below poverty line in year 1998 and TPUBM98, percent work trips with bus or minibus in year 1998; and negatively correlated with ECPPC93, city production per capita in 1993.

The correlation analysis reflected several significant linear correlations among 10 variables, and the results were in line with findings of the previous studies. The percent women headed and total households below poverty line, as expected, were positively correlated with the percent work trips using bus or minibus, percent work trips with train or tramway and informal employment; and negatively correlated with city product per capita. The correlation analysis confirmed the previous findings for urban areas that economically lower income cities with lower average city product per capita coexisted with more poor. It also confirmed that in urban areas with more poor, higher percent of work trips are made by public or non-motorized modes, and lower percent of work trips are made with motorized private vehicle.

The correlation analysis suggested the possibility of developing simple models for urban poverty and transport. For year 1993 and 1998, eleven typical mathematical relationships between SPPHH, percent households below poverty line, and SPPWH, percent women headed households below poverty line as dependent variables, and five transport variables, as independent variables, were evaluated. The transport variables were TTTWT, average travel time for work trips, TPUPM, percent work trips using motorized private vehicle, TPUTT, percent work trips using train or tramway, TPUBM, percent work trips using bus or minibus, and TPUNM, percent work trips using non-motorized modes, respectively. The functional forms were linear, growth, compound, quadratic, logarithmic, cubic, S shape, exponential, inverse, power and logistic. Consequently, for 1993 and 1998, total of 220 univariable models were evaluated. Furthermore, multivariable models for SPPHH and SPPWH with transportation variables of TTTWT, TPUPM, TPUTT, TPUBM and TPUNM were also developed and evaluated.

The statistically significant models, based on f-test for the model and t-test for coefficients, and at a level of 0.05, with largest coefficients of determination, R squares, were identified, which are listed in Table 6. Assuming that the transportation variables could explain poverty variables in urban areas, the models derived, provided some clues for possible cross-sectional relationships between percent households below poverty line and the database transportation variables. Univariate models, listed in Table 6, suggested the domination of linear relationships between SPPHH, percent households below poverty line and SPPWH, percent women headed households below poverty line, as dependent variables, with TPUPM, percent work trips using private vehicle and TPUBM, percent work trips using bus or minibus as independent variables, for years 1993 and 1998. These models imply the coexistence of larger percents of households below poverty line with larger percents of work trips using bus or minibus and

smaller percents of work trips using private vehicles. Moreover, multivariable models presented in Table 6, suggested the coexistence of larger percent of households below poverty line, as the dependent variable, with larger travel time for work trips and larger percent work trips using bus or minibus, as independent variables.

4. Elasticity analysis

To further characterize poverty and transport time-series patterns during the period 1993 to 1998, elasticity's of SPPHH, percent households below poverty line with respects to other nine variables were developed. The arc elasticity E of a variable Y with respect to a variable X for the period $t1-t2$ reflects the percent variable Y changes with respect to one percent change of the variable X during period $t1-t2$, as is shown by Equation 1 (Kanafani 1983):

$$E_{Y/X,t1-t2} = \frac{(Y_{t2} - Y_{t1})/(Y_{t2} + Y_{t1})}{(X_{t2} - X_{t1})/(X_{t2} + X_{t1})} \quad (1)$$

Where $E_{Y/X,t1-t2}$ is the arc elasticity of variable Y with respect to variable X during the period $t1$ to $t2$. When the difference between $t1$ to $t2$ gets very small, the arc elasticity converges to point elasticity. If the absolute value of elasticity is greater than one, then the behaviour of Y respect to the X is elastic. If the absolute value of elasticity is smaller than one, then the behaviour of Y respect to the X is inelastic. Unit elasticity occurs when the elasticity is equal to one. The elasticity of SPPHH with respect to any other variable reflects its percent change with respect to one percent change of the other variable during the period of 1993 to 1998. Using Equation 1, nine arc elasticity's were computed.

The results of descriptive analysis for the developed elasticity's are summarized in Table 7. The relative large number of missing cases of Table 7 made the results less statistically representative for all urban areas. Nevertheless, as the table shows, the coefficients of variation of elasticity's showed large variations, from 1.23 to 9.43. The large variations are also reflected by minimum negative values and maximum positive values of the developed elasticity's. The mean values for elasticity's of SPPHH, percent households below poverty line, with respect to all variables except EPEIE, TTTWT and TPUPM were positive. The relative large number of missing cases, more than 80%, for elasticity's of SPPHH with respect to DUPOP, SPPWH, EPEIE and TPUTT made their pertinent descriptive analysis less reliable.

The $E_{SPPHH/TTTWT}$ mean value of -3.2 suggested that, on the average, a 3.2 percent time-series increase of percent households below poverty line coexisted with one percent time-series decrease of average travel time of work trips. The $E_{SPPHH/TPUPM}$ mean value of -0.77 suggested that, on the average, a 0.77 percent time-series decrease of percent households below poverty line coexisted with one

percent time-series increase of percent work trips using motorized private vehicle. The $E_{SPPHH/TPUTT}$ mean value of 0.09 suggested that, on the average, a 0.09 percent time-series decrease of percent households below poverty line coexisted with one percent time-series decrease of percent of work trips using train and tramway. The $E_{SPPHH/TPUBM}$ mean value of 1.43 suggested that, on the average, a 1.43 percent time-series decrease of percent households below poverty line coexisted with one percent time-series decrease of work trips using bus and minibus. $E_{SPPHH/TPUNM}$ mean value of 51.08 suggested that, on the average, a 51.08 percent time-series decrease of percent households below poverty line coexisted with one percent time-series decrease of percent work trips using non-motorized modes. The interpretations of elasticity's mean values, as they reflected mean values of time-series changes, were not always parallel with the results of correlation analysis. Furthermore, the analyses were not based on the same number of cases. Indeed, the developed arc elasticity's also were influenced by a third variable, the time variable.

To clarify time-series variation, based on developed elasticity's of SPPHH with respect to transportation variables, taxonomy of the study urban areas was developed. Table 8 portrays these variations. For the selected 33 urban areas, after excluding 17 for time-series missing information, half showed increase for SPPHH, the percent households below poverty line. For either group of urban areas, with increase or decrease of percent households below poverty line, transportation elasticity's showed large variations, from negative to positive, and from inelastic to elastic. These variations suggest the possibility of significant complex time-series direct and indirect relations between poverty and transport that could not be quantitatively captured due to limited sample points. Nevertheless, developed elasticity's could be used for urban areas comparative assessment.

5. Conclusions

The study offers the methodology and conclusions of a comparative macroscopic study in connection with urban poverty and transportation. In order to facilitate eradication of urban poverty, which is an imperative facet of sustainable development, the paper describes an attempt to shed some light on urban poverty and transportation patterns for a selected number of urban areas in Islamic countries, during last decade. The accessible databases were overwhelmed by data incompleteness and missing values. This significantly curtailed the reliability of the results and quantitative interpretations. After preliminary evaluation of 86 urban areas, 33 were selected for detailed analysis. The study time-series database consisted of 10 variables, covering time period 1993 to 1998. The poverty variables were the percent of total and women headed households below poverty line. The transportation variables were work trips average travel time and percents of modal splits. The study results could have been enhanced if further information

regarding urban poverty and urban transport demand and supply had been available.

The univariate and multivariate statistical analyses for the selected urban areas showed interesting results and relations for the selected variables. The study database univariate analysis showed significant cross-sectional and time-series variability for urban poverty and urban transport. The 1993 to 1998 changes for percent households below poverty line, percent women headed households below poverty line, the average city production per capita, the percent employment in informal sector, the average travel time of work trips and the percent work trips using non-motorized private vehicles showed negative mean values or negative growths. The 1993 to 1998 changes for total population, the percent work trips using private vehicle, percent work trips with train and tramway and the percent work trips using bus or minibus showed positive mean value or positive growths. The percent households below poverty line was found positively correlated with percent women headed households below poverty line and percent work trips using public or non-motorized transport modes, and negatively correlated with average city product per capita and percent work trips using motorized private vehicle. The correlation analysis confirmed the previous findings for urban areas that economically lower income cities with lower average city product per capita coexisted with more poor. It also confirmed that in urban areas with more poor, higher percent of work trips are made by public or non-motorized modes. This reflects the importance of public and non-motorized transportation development as a key factor in achieving urban social sustainability for Islamic countries. Several univariable models were found significant for cross-sectional relationship, as linear, logarithmic, inverse and compound functions, between percent women headed and total households below poverty line, as the dependent variables, and variables pertinent to transport, as independent variables in years 1993 and 1998. Nevertheless, linear relations dominated the calibrated models. Four multivariable linear models were found significant for cross-sectional relationship between percent women headed and total households below poverty line with transportation variables. The elasticity analysis shed further light on the variable changes and trends during the study period of 6 years. The interpretations for the mean values of developed elasticity's of the percent households below poverty line with respect to transportation variables, as they reflected mean values of time-series changes, were not always parallel with the results of correlation analysis, as they were not based on the same number of cases. The developed elasticity's were suggested for comparative assessment of urban areas with respect to poverty and transportation. Significant variations in developed elasticity's suggested the possibility of complex time-series relations between poverty and transportation for the selected urban areas.

Due to study limited resources, the study database was overwhelmed by data incompleteness and missing values. This significantly curtailed the reliability of the results and quantitative interpretations. The study confirmed the need for more relevant and complete centralized databases. Nevertheless, for the selected urban areas and the 6-year period of 1993-98, urban poverty and urban transportation showed several significant correlations. They also showed large cross-sectional and time-series variations. The study confirmed the importance of public and non-motorized transportation as the key factor in achieving social sustainability for urban areas of Islamic countries. Although the study findings are based on a very limited database, the methodology can be applied to other periods or geographical scopes for addressing pertinent poverty and transportation issues.

Acknowledgements

The authors wish to thank the Sharif University of Technology for providing partial funding for this study.

References

- 1- Barter, A. R. P. (1998). Transport and Urban Poverty in Asia: A Brief Introduction of the Key Issues, Proceedings of UNCHS Habitat Regional Symposium on Urban Poverty in Asia, Fukuoka, Japan.
- 2- Cook, C. C. (2005). Joining the Mainstream: Transport Investment and the Rural Poor in Thailand, Proceedings of the Transportation Research Board 84th Annual Meeting, Washington, D. C., 2005.
- 3- Gannon, C. A., and Zhi, L.(1997). Poverty and Transport, Discussion Paper TWU-30, World Bank, Washington, D. C.
- 4- Kanafani, A. (1983). Transportation Demand Analysis, McGraw-Hill Book Co., London, 1983.
- 5- Peng, Z. (2005).Urban Transportation Strategies in Chinese Cities and Their Impacts on the Urban Poor, Proceedings of the Transportation Research Board 84th Annual Meeting, Washington, D. C.
- 6- United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, UNESCAP, and Asian Institute of Transport Development, AITD (1999). Evaluation of Infrastructural Interventions for Rural Poverty Alleviation, UNESCAP, Bangkok, and AITD, New Delhi.
- 7- United Nations Habitat (2004). Global Urban Observatory and Statistics, <http://www.unhabitat.org>.
- 8- Vaziri, M. (1986). Consideration of Special User Groups in Regular Transit Operation and Finance, Transportation Research Record, No. 1098, pp 20-26.

Table 1: The study urban areas

No.	City	Country	Continent
1	Abidjan	Cote d'Ivoire	Africa
2	Amman	Jordan	Asia
3	Bamako	Mali	Africa
4	Bandung	Indonesia	Asia
5	Bishkek	Kyrgyzestan	Asia
6	Chittagong	Bangladesh	Asia
7	Conakry	Guinea	Africa
8	Cotonou	Benin	Africa
9	Dakar	Senegal	Africa
10	Dhaka	Bangladesh	Asia
11	Douala	Cameron	Africa
12	Ibadan	Nigeria	Africa
13	Jakarta	Indonesia	Asia
14	Jinja	Uganda	Africa
15	Koudougou	Burkina Faso	Africa
16	Lagos	Nigeria	Africa
17	Lahore	Pakistan	Asia
18	Libreville	Gabon	Africa
19	Lome	Togo	Africa
20	Maputo	Mozambique	Africa
21	N'Djamena	Chad	Africa
22	Niamey	Niger	Africa
23	Nouakchott	Mauritania	Africa
24	Ouagadougou	Burkina Faso	Africa
25	Porto Novo	Benin	Africa
26	Rabat	Morocco	Africa
27	Sana'a	Yemen	Asia
28	Semarang	Indonesia	Asia
29	Surabaya	Indonesia	Asia
30	Tallin	Estonia	Europe
31	Tangail	Bangladesh	Asia
32	Tunis	Tunisia	Africa
33	Yaounde	Cameron	Africa

Table 2 : Description of the database variables

No.	Variable	Category	Description	Dimension
1	DUPOP	Demographic	Total population of the urban area	1000 persons
2	SPPHH	Social	Percent households below the locally defined poverty line	Percent in decimal
3	SPPWH	Social	Percent women headed households below the locally defined poverty line	Percent in decimal
4	ECPPC	Economic	City product per capita	US dollar
5	EPEIE	Economic	Percent population employed in informal sector	Percent in decimal
6	TTTWT	Transportation	Average travel time for work trips	Minutes
7	TPUPM	Transportation	Percent work trips using motorized private vehicle	Percent in decimal
8	TPUTT	Transportation	Percent work trips using train or tramway	Percent in decimal
9	TPUBM	Transportation	Percent work trips using bus or minibus	Percent in decimal
10	TPUNM	Transportation	Percent work trips using non-motorized mode, such as bicycle, walking or other	Percent in decimal

Table 3 : Descriptive analysis of the database variables

Variable	Number of cases	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation
DUPOP93	27	58.8	13047.7	1948.4	2876.68	1.48
DUPOP98	20	30.1	10000	1745.4	2359.61	1.35
Δ DUPOP	18	-699.3	2500	184	662.9	3.61
SPPHH93	28	0.05	0.78	0.288	0.21	0.73
SPPHH98	26	0.09	0.53	0.259	0.17	0.64
Δ SPPHH	22	-0.32	0.26	-0.02	0.13	6.23
SPPWH93	16	0.02	0.95	0.356	0.3	0.85
SPPWH98	14	0.018	0.585	0.22	0.19	0.86
Δ SPPWH	5	-0.4	-0.06	-0.204	0.16	0.81
ECPPC93	29	0.124	2843	804.3	702.91	0.87
ECPPC98	10	180	1932	964.9	556.62	0.58
Δ ECPPC	8	-911	306	-32.6	402.37	12.33
EPEIE93	26	0.27	0.9	0.536	0.18	0.35
EPEIE98	18	0.275	0.928	0.544	0.2	0.37
Δ EPEIE	17	-0.38	0.44	-0.011	0.22	20.46
TTTWT93	28	15	90	41.5	20.29	0.49
TTTWT98	25	12	60	37	12.06	0.33
Δ TTTWT	21	-45	15	-3.4	13.37	3.9
TPUPM93	23	0.05	0.77	0.3	0.19	0.77
TPUPM98	23	0	0.9	0.351	0.29	0.82
Δ TPUPM	17	-0.26	0.32	0.037	0.15	4.14
TPUTT93	22	0	0.01	0.001	0	2.83
TPUTT98	22	0	0.55	0.043	0.14	3.12
Δ TPUTT	16	0	0.55	0.037	0.14	3.73
TPUBM93	23	0	0.6	0.244	0.19	0.77
TPUBM98	22	0	0.8	0.352	0.24	0.69
Δ TPUBM	17	-0.13	0.68	0.119	0.22	1.83
TPUNM93	24	0.13	0.92	0.44	0.2	0.46
TPUNM98	21	0	0.862	0.288	0.24	0.82
Δ TPUNM	16	-0.7	0	-0.212	0.2	0.94

Table 4 : Results of cross sectional correlation analysis

Variable	1993, 61 urban areas	1998, 58 urban areas
DUPOP	(+) TTTWT , (+) TPUBM	
SPPHH	(+) SPPWH , (-) TPUPM (-) ECPPC , (+) TPUTT	(+) SPPWH , (-) TPUPM
SPPWH	(+) SPPHH	(+) SPPHH
ECPPC	(-) SPPHH (-) EPEIE	
EPEIE	(-) ECPPC , (+) TPUNM (-) TPUBM	(+) TPUPM , (-) TPUBM
TTTWT	(+) DUPOP	
TPUPM	(-) SPPHH , (-) TPUNM	(-) SPPHH , (-) TPUBM (+) EPEIE , (-) TPUNM
TPUTT	(+) SPPHH	
TPUBM	(+) DUPOP , (-) TPUNM (-) EPEIE ,	(-) EPEIE , (-) TPUNM (-) TPUPM
TPUNM	(+) EPEIE , (-) TPUBM (-) TPUPM	(-) TPUPM , (-) TPUBM

Table 5: Results of time-series correlation analysis

Variable	1993, 33 urban areas	1998, 33 urban areas
DUPOP	(+) TTTWT 93 , (+) TTTWT 98 (+) TPUTT 93 , (+) TPUNM 98 (+) DUPOP 98	(+) DUPOP 93 (+) TPUTT 93 (+) TPUNM 98
SPPHH	(+) SPPWH 93 , (+) SPPHH 98 (-) ECPPC 93 , (+) SPPWH 98 (+) EPEIE 93 , (+) TPUNM 98	(+) SPPWH 93 , (+) SPPWH 98 (+) SPPWH 93 , (+) TPUBM 98 (-) ECPPC 93
SPPWH	(+) SPPHH 93 , (+) SPPHH 98 (+) EPEIE 93 , (-) TPUPM 98 (-) TPUPM 93 , (+) TPUBM 98	(+) SPPHH 93 , (+) TPUBM 93 (-) ECPPC 93 , (+) SPPHH 98 (-) TPUPM 93
ECPPC	(-) SPPHH 93 , (-) SPPWH 98 (-) EPEIE 93 , (+) ECPPC 98 (-) SPPHH 98	(+) ECPPC 93
EPEIE	(+) SPPHH 93 , (-) ECPPC 93 (+) SPPWH 93	(+) TPUPM 93 (-) TPUBM 98
TTTWT	(+) DUPOP 93 , (+) TTTWT 98	(+) DUPOP 93 , (+) TTTWT 93
TPUPM	(-) SPPWH 93 , (+) EPEIE 98 (-) TPUNM 93 , (+) TPUPM 98 (-) SPPWH 98 , (-) TPUBM 98	(-) SPPWH 93 (+) TPUPM 93 (-) TPUBM 98
TPUTT	(+) DUPOP 93 , (+) DUPOP 98	
TPUBM	(-) TPUNM 93 (+) SPPWH 98 (+) TPUBM 98	(+) SPPWH 93 , (+) SPPHH 98 (-) TPUPM 93 , (-) EPEIE 98 (+) TPUBM 93 , (-) TPUPM 98
TPUNM	(-) TPUPM 93 , (+) TPUNM 98 (-) TPUBM 93	(+) DUPOP 93 , (+) TPUNM 93 (+) SPPHH 93 , (+) DUPOP 98

Table 6 : The developed models

Dependent variable	Independent variable	Model	R ²	Parameters	
				Constant	Coefficient
SPPWH93	TPUPM93	Linear	0.456	78.7199	-1.4733
		Logarithmic	0.438	122.085	-27.132
		Inverse	0.374	20.0672	289.859
		Compound	0.366	103.742	0.9436
SPPHH98	TPUPM98	Compound	0.272	0.4095	0.1479
	TPUBM98	Linear	0.25	0.1777	0.3356
SPPWH93	TPUPM93	Linear	0.482	65.67	-1.392
	TPUNM93				0.224
SPPWH93	TPUPM93	Linear	0.538	92.407	-1.758
	TPUTT93				-37.228
SPPHH98	TTTWT98	Linear	0.56	-0.063	0.007
	TPUPM98				-0.099
	TPUTT98				0.27
	TPUBM98				0.265
SPPWH98	TTTWT98	Linear	0.681	-0.493	0.011
	TPUPM98				0.111
	TPUBM98				0.645

Table 7: Descriptive analysis of elasticity's

Elasticity	Number of cases	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation
E _{SPPHH/DUPOP}	1	12.29	12.29	12.29	–	–
E _{SPPHH/SPPWH}	5	-0.15	1.71	0.73	0.9	1.23
E _{SPPHH/ECPPC}	7	-11	17.84	0.9	8.52	9.43
E _{SPPHH/EPEIE}	12	-34.58	6.85	-3.21	10.7	3.34
E _{SPPHH/TTTWT}	13	-40.79	6.4	-3.2	11.68	3.66
E _{SPPHH/TPUPM}	9	-4.82	2.91	-0.77	2.26	2.95
E _{SPPHH/TPUTT}	3	-0.16	0.51	0.09	0.36	4.11
E _{SPPHH/TPUBM}	7	-1.34	5.23	1.43	2.13	1.49
E _{SPPHH/TPUNM}	10	-0.68	477.55	51.08	150.2	2.94

Table 8: Taxonomy of urban areas

Elasticity Range	Poverty Trend	
	$\Delta SPPHH < 0$	$\Delta SPPHH > 0$
$E_{SPPHH/TTTWT} < -1$	Bandung, Ibadan, Porto Novo, Surabaya, Tallin	Dakar, Yaounde
$E_{SPPHH/TPUPM} < -1$	Porto Novo, Surabaya	Yaounde
$E_{SPPHH/TPUTT} < -1$		
$E_{SPPHH/TPUBM} < -1$	Ibadan	
$E_{SPPHH/TPUNM} < -1$		
$-1 < E_{SPPHH/TTTWT} < 0$		Amman
$-1 < E_{SPPHH/TPUPM} < 0$	Ibadan, Lagos	Dakar
$-1 < E_{SPPHH/TPUTT} < 0$	Ibadan, Lagos	
$-1 < E_{SPPHH/TPUBM} < 0$		
$-1 < E_{SPPHH/TPUNM} < 0$		Amman, Contonou, lome, Yaounde
$0 < E_{SPPHH/TTTWT} < 1$	Lagos, Tangil	
$0 < E_{SPPHH/TPUPM} < 1$		
$0 < E_{SPPHH/TPUTT} < 1$		Dakar
$0 < E_{SPPHH/TPUBM} < 1$		Amman, Yaounde
$0 < E_{SPPHH/TPUNM} < 1$	Ibadan, surbaya	
$1 < E_{SPPHH/TTTWT}$	Bamako, Conkary, Douala	
$1 < E_{SPPHH/TPUPM}$		Cotonou, Lome
$1 < E_{SPPHH/TPUTT}$		
$1 < E_{SPPHH/TPUBM}$	Lagos, Surabaya	Dakar, Lome
$1 < E_{SPPHH/TPUNM}$	Bamako, Porto Novo	Dakar

La typologie des déplacements des actifs à Alger

Lila CHABANE

CREAD B.P 197 Rostomia El Hamadia Bouzaréah Alger

Fax : +213 21 94 17 16 Email : chlila@hotmail.com

Résumé :

Les déplacements des algérois ont été très peu analysés de près, l'objectif de cette communication est d'analyser les résultats de l'enquête ménage sur les déplacements des algérois pour faire ressortir les typologies de déplacements des actifs résidant dans l'agglomération d'Alger, pour y parvenir les relations statistiques liant les différentes variables d'analyse ont été testées, afin de voir lesquelles sont les plus significatives pour construire nos typologies de déplacement. Les résultats de cette analyse vont servir à construire les indicateurs nécessaires à une analyse géographique sur l'adéquation entre l'offre et la demande des transports en commun dans l'agglomération d'Alger.

Mots clés Alger, enquête ménage transport, déplacement des actifs, analyse des données, typologie.

Abstract: The typology of Algiers workers displacements

There aren't enough studies about Algerians mobility, in this paper we present a part of a CREAD research and a thesis of doctorate, the objective of our research is to test the hypothesis of existence discrimination in the access to the urban transportation system. First we have to try to understand the displacements practices of the Algiers workers by analysing the results of the inquiry household accomplished in Algiers on 2004, the strengthening of the three files resulting from displacement, household and person questionnaire of this inquiry in order to implement the statistical analysis tools: factorial analysis, classification. Different variables (mobility and socio-economic) were tested to see which are the most significant to construct our photography of workers displacement, the result of this studies will help us to build a mobility indicators for a geographic analysis including the offer urban transportation system in Algiers, in order to see if there is a space differentiation in the access to the network and the social representations of daily mobility.

Keywords: Algiers, household transport, workers displacements, data analysis, typology

Introduction :

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'une recherche du CREAD et d'une thèse de doctorat à l'université de Paris7, sur la mobilité quotidienne et les transports urbains à Alger. L'objectif de cette recherche est de voir le degré de réponse de l'offre (en quantité et en qualité) du réseau actuel des transports en commun à la demande des déplacements des algérois pour voir s'il y a une différenciation spatiale dans l'accès au réseau et des représentations sociales de la mobilité quotidienne. Dans cette partie de notre recherche nous allons essayer de saisir et de comprendre les habitudes de déplacement des actifs résidants à Alger en exploitant les résultats de l'enquête ménages réalisée à Alger en 2004, la consolidation des trois fichiers résultant des questionnaires déplacement, ménage et personne de cette enquête va nous permettre de mettre en œuvre les outils de l'analyse statistique : analyse factorielle, classification, dans une démarche de traitement d'enquête portant sur les déterminants des pratiques de déplacement.

Il s'agit dans un premier temps de nous familiariser avec la population étudiée (les 11350 déplacements réalisés par les actifs sur Alger) en repérant ses principales caractéristiques ainsi que

les différents moyens de les décrire d'une façon simple, significative et non redondante. Nous nous attacherons ensuite à analyser les résultats de l'application d'une analyse factorielle en correspondances multiples (AFCM) sur les groupes de variables retenues afin d'élaborer la typologie explicative recherchée sous forme de relation entre des caricatures de mobilité et des sous groupes de la population étudiée, on procèdera enfin à une description des classes obtenus pour cette typologie.

I. Présentation de la population étudiée

L'enquête ménage transport 2004 d'Alger a été réalisée sur un échantillon représentatif de 5008 ménages, la présente analyse des déterminants des pratiques de déplacement porte sur une population de déplacements (11350) réalisés par les actifs (hommes et femmes) âgés d'au moins 16 ans.

Caractéristiques socio-démo-économiques des actifs auteurs des déplacements :

Les actifs réalisant les déplacements étudiés se répartissent de façon assez homogène en 3 classes d'âge (25-35 ans ; 35- 44ans et 45-59ans), seul 9% des déplacements sont réalisés par des actifs de moins de 24ans notons que l'âge minimum enregistré est de 16ans (ayant un statut d'employés ou d'indépendant), les actifs de plus de 60ans réalisent 2% seulement des déplacements on retrouve respectivement les employés, les cadres moyens et supérieurs puis les indépendants.

Plus d'un tiers des déplacements sont réalisés par des actifs résidant dans le centre de la ville, les deux tiers restant des déplacements sont effectués par les actifs résidants dans la périphérie d'Alger (1^{ère} et 2^{ème} couronne). Notons que 38% des actifs résident au centre alors que 24% résident en 1^{ère} couronne et 39% en 2^{ème} couronne

La population étudiée correspond à des déplacements effectués par des actifs appartenant à des ménages moyennement modestes, puisque 86% des déplacements sont réalisés par des actifs appartenant à des ménages à revenu bas (moins de 20000 DA) ou moyen (entre 20000 et 40000 DA)(au lieu de 90% dans la population du total des déplacements) et seulement 14% appartiennent aux ménages aisés (contre 10% dans la population totale).

Parmi la population étudiée, seuls 43% des déplacements sont effectués par des actifs ne possédant pas de véhicule particulier, contre 61% pour la population totale. Notons que la possession d'un véhicule particulier est étroitement liée au revenu du ménage auquel l'individu actif appartient, en effet 71% des déplacements des actifs ayant des revenus bas n'ont pas d'accès au véhicule particulier et 59% des déplacements des actifs ayant des revenus élevé sont équipé d'au moins un véhicule. Malgré les facilités d'acquisition d'un véhicule particulier, ce moyen de transport n'est pas accessible à la majorité de la population qui est plus tournée vers les moyens de transport collectifs.

45% des déplacements sont le fait des actifs exerçant leurs activités professionnelles dans le centre de l'agglomération d'Alger notons que dans la population des actifs seuls 26% travaillent dans leur secteur de résidence. Ce résultat reflète bien la réalité de la répartition déséquilibrée des équipements et des infrastructures, ceux-ci sont essentiellement concentrés dans le centre ce qui génère des flux de déplacements, particulièrement dans les heures de pointe du matin, de la périphérie vers le centre et le soir dans le sens inverse.

L'analyse des déplacements des actifs nous fait ressortir une forte dissymétrie par type d'habitat, en effet 61% des déplacements des actifs habitant une maison individuelle résident dans la 2^{ème} couronne alors que 48% des déplacements des actifs habitant un appartement résident au centre de l'agglomération.

Cette répartition appuie le constat de la délocalisation des résidents du centre vers la périphérie en fonction de la disponibilité du terrain vacant pour l'acquisition d'une plus grande habitation, au détriment des distances de déplacement qui vont s'allonger et le recours de ce fait à des moyens de déplacement motorisés voir dans les plus part des cas individuels, notons que l'habitat est un élément de disparité social qui détermine le choix modale de déplacement.

Caractéristiques des déplacements des actifs :

On constate qu'en général le nombre de déplacements croît avec la durée, aussi on note l'importance des déplacements de plus d'une heure (29%) qui sont à 85% des déplacements domicile-travail, mais la majorité des déplacements des actifs durent entre 20 à 40 minutes (33%).

La longueur du déplacement domicile-travail en terme de temps est un signe d'étalement des trajets mais aussi de congestion des voies de circulation c'est un facteur négatif sur la santé de l'actif et sur la rentabilité économique de l'entité où il travaille. Notons aussi que les actifs passent plus de temps dans les déplacements en transport en commun (une heure et plus).

Plus d'un tiers des déplacements des actifs sont réalisés en transport en commun, le véhicule particulier intervient ensuite avec 28% des déplacements suivi de la marche à pied avec 26% des déplacements. Les actifs utilisent plus les transports en commun quand ils habitent en périphérie (1^{ère} et 2^{ème} couronne 42% et 40%). Les transports en commun sont donc le mode de 1^{er} choix, mais de contrainte dans la plus part des cas, pour les déplacements des actifs vers leurs lieux de travail.

La répartition des heures de départ n'est pas très surprenante, les deux pointes les plus marquées de la journée sont : celle du matin la plus aigüe, celle du soir plus étalée la pointe du midi n'étant pas très marquée, ce ci démontre que les actifs prennent leurs repas de midi sur leur lieu de travail dans la plupart des cas ne font pas un retour à la maison à midi comme on l'a vu précédemment 86% des déplacements sont liés au travail dont un dixième seulement de déplacements secondaire-travail.

Les résultats des enquêtes ménages sur les déplacements ne nous renseignent pas sur les distances parcourues, aussi étant donné qu'il est difficile d'estimer la vitesse de circulation des modes motorisés vu les conditions exceptionnelles (forte congestion du trafic en heure de pointe) dans lesquels il se déroulent et la variation de ces conditions selon la localisation de ces déplacements, on se contentera de calculer la distance des déplacements réalisés exclusivement en marche à pied en se basant sur la durée déclarée et en prenant une vitesse moyenne de 3,5 km/h.

Ainsi on remarque que la plus grande part des déplacements en marche à pied (63%) se fait sur une distance inférieure ou égale à 1 kilomètre, notons aussi l'importance de la part des déplacements (20%) qui sont réalisés sur des distances relativement longues proche ou égale à 2km. Le premier motif de déplacement en marche à pied est le travail (84%). La répartition par zone de résidence des auteurs de ces déplacements nous renseigne que 40% de ceux qui font le trajet domicile travail résident dans le centre de la ville et 37% dans la 2^{ème} couronne, en d'autres termes là où il y a plus d'offre d'emploi et la distance entre le lieu de résidence et le lieu de travail est relativement courte.

Pour l'ensemble des déplacements des actifs, la part du budget des ménages consacré au transport est de 9%. Par catégorie de revenu, les ménages à bas revenus consacrent 16% de leurs revenus au transport et c'est les ménages à revenu moyen qui consacrent le moins avec 10% de leurs revenus, ceux avec les revenus élevés y consacrent 12%. Aussi on constate que les ménages qui résident en périphérie sont ceux qui dépensent le plus pour les transports.

On note que plus de la moitié des déplacements des actifs sont liés au centre, aussi les déplacements internes à une zone sont plus importants que les déplacements de transfert, il est intéressant de mettre en relation l'origine destination du déplacement avec le lieu de résidence de l'actif réalisant ce déplacement, ainsi 86% des déplacements des actifs résidant dans le centre de l'agglomération sont internes à cette zone et 26% des déplacements des actifs habitant la périphérie sont réalisés entre la périphérie et le centre.

La part des transports en commun dans les déplacements de transfert entre centre et périphérie est la plus importante par rapport aux autres liaisons, sur les trajets longs ils concurrencent même le véhicule particulier, par contre sur les déplacements internes au centre et à la périphérie c'est la marche à pied qui tient la première place, d'un autre côté le véhicule particulier joue un rôle non négligeable dans les déplacements de distance.

II. Analyse des correspondances et typologie sur la population des déplacements des actifs

La méthodologie

Vu la nature de nos variables et l'objectif attendu (dégager les principales différences de comportement des personnes) l'analyse factorielle nous a semblé l'outil statistique le plus approprié pour mener à bien cette étude, notre base de données contient des variables quantitatives (l'âge, le revenu,...) et d'autres qualitatives (lieu de résidence, type d'habitat, ...) le premier travail à faire

avant de passer à l'analyse statistique est d'homogénéiser notre base de données, les variables quantitatives sont transformées en variables qualitatives, plusieurs codages ont été réalisés (en ayant un nombre de modalités proche pour toutes les variables et de sorte qu'il n'y ait un effectif suffisant pour chaque modalité, les classes sont formées en minimisant l'inertie intra-classe).

Une analyse factorielle des correspondances est ensuite appliquée aux données, il s'agit d'une méthode descriptive qui est à la recherche de la meilleure représentation de deux ensembles constituant les lignes et les colonnes d'un tableau de données. Le tableau de données dispose des informations sous forme rectangulaire croisant des individus et des variables qualitatives. Les lignes représentent les individus (les déplacements) tandis que les colonnes représentent les variables.

La méthode est adaptée au tableau de Burt qui croise les colonnes avec elles-mêmes c'est un tableau symétrique tel que au croisement de la ligne i et de la colonne j figure le nombre de déplacements ayant le profil i et le profil j .

Au départ toutes les variables ont été introduites dans l'algorithme de l'AFCM, puis plusieurs combinaisons de variables ont été testées de façon à ne garder que celles qui expliquent le plus d'informations afin de trouver la meilleure combinaison de variables et de leurs modalités qui préserve le plus le nuage de points qui nous aidera à interpréter les relations et les oppositions, finalement pour mener à bien notre étude les variables d'analyse retenues sont le mode principal de déplacement, l'origine et destination du déplacement, la durée du déplacement, le motif du déplacement, l'âge de l'auteur du déplacement, le revenu du ménage, le type d'habitat du ménage, la taille du ménage, le secteur de résidence de l'actif, la possession ou non d'un véhicule particulier.

Interprétation de l'analyse factorielle : L'analyse factorielle appliquée à ce groupe de variables a abouti à trois facteurs avec les résultats suivants :

Le premier axe factoriel (31% d'inertie) marque l'opposition entre les déplacements de courte durée et ceux de plus longue durée, les déplacements de courtes durées sont réalisés évidemment en marche à pied et par les jeunes actifs de 24 ans au plus, ils appartiennent à des ménages à bas revenus et résident dans la 2^{ème} couronne on trouve de ce côté de l'axe les déplacements de périphérie à périphérie ou hors de l'agglomération d'Alger, ces déplacements sont globalement réalisés pour les motifs de loisirs ou d'achat.

De l'autre côté de l'axe on retrouve les déplacements de très longue durée qui sont réalisés en transport en commun, on retrouve de ce côté de l'axe les actifs moyennement jeunes qui résident dans la 1^{ère} couronne, ces déplacements sont globalement réalisés pour le motif travail et leurs auteurs appartiennent à des ménages de petite taille de 1 à 4 personnes, il ressort aussi que ce sont des déplacements de transfert entre le centre et la périphérie.

On peut dire que ce premier axe est fonction du mode et de la durée du déplacement, on passe du mode doux qui est la marche à pied et qui est utilisé pour des déplacements de courte durée vers les modes motorisés collectifs pour des déplacements de plus longues durées.

Le deuxième axe (24% d'inertie) marque une opposition entre les déplacements de périphérie et ceux du centre, dans les déplacements internes au centre les auteurs sont globalement les actifs moyennement jeunes propriétaires de véhicule particulier faisant partie des ménages les plus aisés. Si on regarde les motifs de ces déplacements on retrouve l'accompagnement et un peu moins les déplacements secondaires travail, ces déplacements sont réalisés par le véhicule particulier.

Dans l'opposition dans les déplacements de périphérie à périphérie ou hors de l'agglomération d'Alger, on retrouve les jeunes actifs de 24 ans ou moins appartenant à des ménages de grande taille (de 6 personnes ou plus) et à revenus modestes et habitant dans des maisons traditionnelles ou précaires. Globalement ces actifs habitent en 2^{ème} couronne d'Alger et les déplacements obligatoires (pour motif de travail) sont réalisés en transports en commun et pour de très longues durées.

Cet axe est finalement lié à la région on a un effet localisation géographique du déplacement mais il est aussi lié au revenu, plus on va vers le centre en terme de secteur de résidence plus les revenus sont élevés.

La troisième direction (20% d'inertie) marque une opposition entre les déplacements en transports collectifs et ceux qui sont réalisés en véhicule particulier. Les actifs qui se déplacent en véhicule particulier sont les seniors (plus de 45 ans), ils habitent en 2^{ème} couronne et dans des maisons individuels, on retrouve aussi les ménages les plus aisés aux revenus les plus élevés, ces actifs réalisent des déplacements d'accompagnement en véhicule particulier, aussi les déplacements d'achat et de loisirs. A l'inverse, les actifs utilisateurs des transports en commun sont en majorité des jeunes âgés de 25 à 34 ans vivant au centre dans un appartement, ces actifs n'ont pas d'accès au véhicule particulier et font essentiellement des déplacements obligés (travail), ils utilisent le ramassage employeur comme ils utilisent aussi un transport alternatif (taxi individuel, clandestin, etc.). Cet axe est lié à l'âge et le revenu ainsi que l'origine et la destination du déplacement. Les bas revenus se situent du côté des utilisateurs des transports en commun.

Typologie

Une classification ascendante hiérarchique, avec l'indice de similarité : coefficient de corrélation de Pearson, réalisée sur les coordonnées des variables sur les axes factorielles déduits de l'AFCM permet de définir 3 classes de déplacements :

Les actifs moyennement jeunes usagers des transports en commun : on retrouve dans cette classe les déplacements des actifs en Transport en commun ou autres moyens alternatifs (Transport de l'employeur, taxi individuel, clandestin.....), on y trouve beaucoup de déplacements d'actifs de 25 à 44 ans appartenant à des ménages de petite ou moyenne taille (1 à 5 personnes) dont le revenu est égal ou supérieur à 20000DA et résident dans le centre, les déplacements à l'intérieur du centre et les déplacements de transfert entre le centre et la périphérie dont la durée est de 40 minutes et plus. On trouve aussi les déplacements des actifs habitant dans des appartements et ne disposant pas de véhicule particulier. Globalement on retrouve dans cette classe les déplacements pour le motif travail.

Les actifs jeunes adeptes de la marche à pied : sont représentés les déplacements, qui sont réalisés en marche à pied dont la durée est de moins de 40 minutes on retrouve les déplacements des jeunes actifs de moins de 25 ans, les ménages de grande taille (6 personnes et plus) qui habitent dans des habitations précaires ou traditionnelles et dont le revenu est bas (moins de 20000DA). On retrouve plus dans cette classe les déplacements liés au travail, d'achat et de loisirs.

Les actifs seniors utilisateurs du véhicule particulier pour des accompagnements : cette classe est formée par les déplacements en véhicule particulier, les déplacements des actifs seniors (45 ans et plus) qui possèdent un véhicule particulier, les déplacements des actifs qui résident dans la périphérie dans des maisons individuelles et qui font des déplacements de périphérie à périphérie pour les motifs d'accompagnement et autres.

Conclusion

L'analyse factorielle a abouti à des contrastes de mobilité des actifs, les principaux étant :

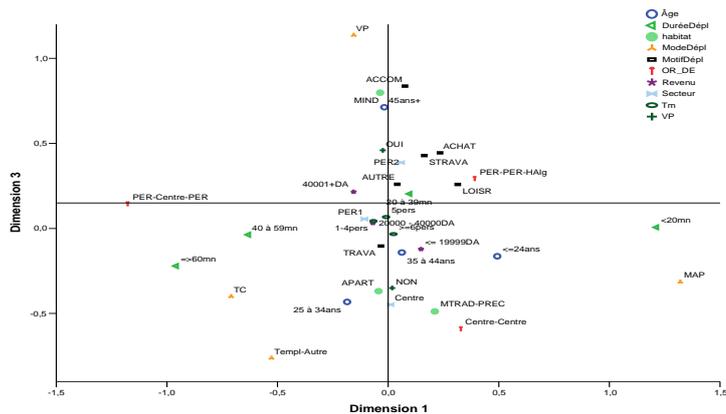
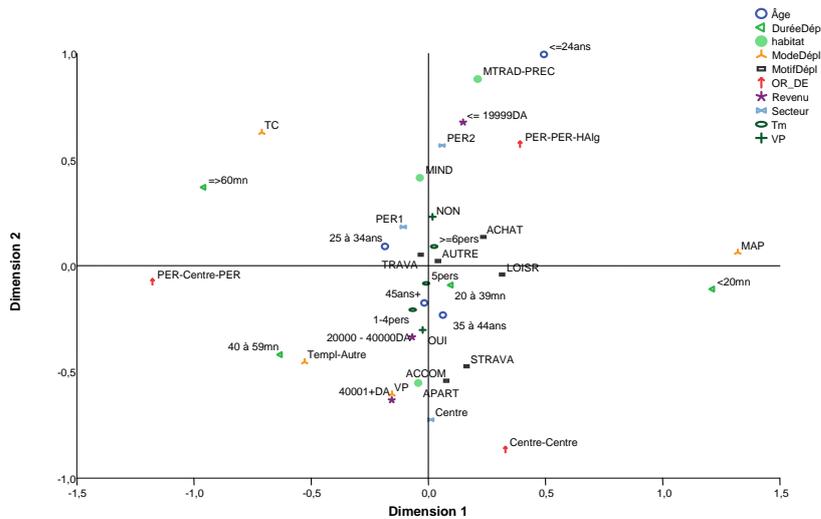
- Une opposition entre les déplacements de courte durée pour des motifs non obligés et l'usage de la marche à pied et de l'autre côté les déplacements de longue durée pour aller au travail et l'usage des transports en commun.
- Une opposition entre les déplacements internes au centre de l'agglomération et les déplacements internes à la périphérie.

Des discriminations ont pu être relevées par rapport à l'âge, au revenu, à l'accès au véhicule particulier, au type d'habitat et au secteur de résidence. Dans la prochaine étape de notre recherche nous allons mettre en relation les classes de la typologie des déplacements des actifs avec la commune de résidence pour passer à l'analyse spatiale. Pour ce faire en plus des indicateurs de la mobilité, déduits de la présente étude, nous allons introduire dans notre système d'information géographique, outil de l'analyse spatiale, les indicateurs de l'offre du réseau des transports en commun pour tester l'hypothèse de l'existence ou non d'une discrimination dans l'accès au réseau de transport en commun.

Références :

- B.E.T.U.R/E.M.A- C.E.N.E.A.P : Enquête Ménages sur les déplacements dans l'agglomération d'Alger – Base de données - Alger, juillet 2004.
- Iryna Golovan, Robert Latour & Hugues Boisvert : Analyse factorielle des correspondances et classification ascendante hiérarchique, Cahier de recherche : cicma 03-02, Canada, avril 2003, ISSN : 1498-2722.
- F.G CARPENTIER : Introduction aux analyses multidimensionnelles, Documents pédagogiques à télécharger, 2005/2006, <http://geai.univ-brest.fr/~carpenti/index2005.html>.
- Didier PLAT & Jean-Louis ROUTHIER : Traitement des données, notes de cours, VA Transports, DEA d'Economie des Transports, ENTPE, Lyon, France, 2002.

Fig. 1 Axes factorielles 1, 2 et 3 : variables structurantes / founding variables



Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. 2009. Actes, ENP ed., Alger, p. 315-321.

Les déplacements d'achats motorisés des ménages : Un enjeu environnemental majeur, le cas de l'agglomération du Havre

Mohamed HANI
CIRTAI / IDEES, UMR 6228 CNRS,
Université du Havre
25 Rue Philippe Lebon
76086 Le Havre Cedex (France)
Courriel : mohamed14.hani@caramail.com & mohamed.hani@univ-lehavre.fr

Résumé

Les déplacements en voiture pour effectuer les achats sont une source importante d'émissions de CO₂. L'objectif de cette communication est de fournir un éclairage sur les déterminants de ces déplacements. Elle vise à montrer l'impact des activités de loisirs des enfants sur les comportements des ménages dans leurs déplacements d'achats. S'interroger sur cette mobilité renvoie aux rapports entre pratiques de l'espace urbain et pratique commerciale. L'étude révèle de nouveaux comportements d'approvisionnement associés à de nouveaux modes de vie et dont la complexification de la mobilité de tous les jours en est la cause. Le rapport du consommateur à la voiture peut être divers et surtout largement dépendant du contexte dans lequel il vit. Plus il est mobile, moins il fréquente les commerces de son quartier, quant ils existent. Son itinéraire est soumis à ses contraintes de différentes activités de la vie quotidienne, entre autres les activités de loisir des enfants. Le comportement des consommateurs dans leurs déplacements d'achats subit donc les effets de la présence de ces activités des enfants. Notre recherche associe ce phénomène à l'accroissement des chaînes de déplacements. Les résultats montrent que les déplacements extrascolaires, d'une part, déterminent les fluctuations tant spatiales que temporelles des déplacements d'achats et, d'autre part, influencent le choix modal des consommateurs.

Mots clefs : mobilité d'achat, voiture, chaînes de déplacements, choix modal, commerce.

Summary

Displacements of purchases motorized of the households: A major environmental stake, The case of the agglomeration of Le Havre

Displacements convey some to carry out the purchases are an important source of CO₂ emissions. On average 60% of the purchases of the households are carried out in the car, and up to 80% when they are carried out in hypermarkets. However, this frequent recourse to the private car induced of the costs which are of an economic nature, social and space the sets of themes relating to these problems do not seek, for the majority, which to better include/understand the behaviors of displacement insulated "residence - purchase-residence", without really trying to call into question the concept of displacement. Thus the phenomenon of complex displacements is in a field of study little exploited. However, the study of this phenomenon is of great interest to seize mobilities of today. Our assumption is that the behaviors of the consumers in their practices of purchases concern the strategies of constitution of a cultural and authorized capital of the households: purchases here rather than there, such school and not such other and an activity of leisure here not elsewhere. This free choice results in to project the sociability of the household in other spaces that the district, and consequently to reinforce the dependence of the household compared to the car. Our study reveals that the report/ratio of the consumer to the car can be various and especially largely depend on the

context in which it lives. The more mobile it is, the less it attends the trade of its district, as they exist. Its route is subjected to its constraints of various activities of the everyday life, enter others the activities of leisure of the children. The behavior of the consumers in their displacements of purchases thus undergoes the effects of the presence of these activities of the children. Our research associates this phenomenon the increase in the chains of displacements. The results show that out-of-schools displacements, on the one hand, determine the fluctuations as well space as temporal displacements of purchases and, on the other hand, influence the modal split of the consumers. Key word: mobility of purchase, conveys, chains of displacements, modal split, trade, Keys words: mobility of purchase, chains of displacements, modal split, trade,

Introduction

Les déplacements des ménages pour leur approvisionnement génèrent des flux motorisés considérables. En moyenne 60% des achats des ménages sont effectués en voiture, et jusqu'à 80% lorsqu'ils sont effectués en hypermarchés (Beauvais, 2003, Patier, 2002). Or, cet usage massif de la voiture porte gravement atteinte à notre environnement : selon l'ADEM les flux de marchandises¹ dont les déplacements d'achats constituent 51% occupent près de 20% de l'espace de voirie urbaine et génère jusqu'à 70% des émissions polluantes dues aux transports.

Les thématiques portant sur cette problématique ne cherchent, pour la plupart, qu'à mieux comprendre les mécanismes du déplacement isolé de type « domicile –achat-domicile », sans tenter réellement de remettre en cause le concept fondamental du déplacement. Il y a peu de réflexion sur les rapports entre l'activité d'achat et les autres activités urbaines. Ainsi le phénomène du déplacement en chaînage² lié aux achats se trouve dans un champ d'étude peu exploité. Néanmoins, l'étude de ce phénomène présente un grand intérêt pour saisir la mobilité d'achat. Ainsi, le terme « pérégrination » (Wiel, 1999 ; Desse, 2001), devient un schéma de déplacement dominant. C'est le cas du consommateur qui profite de ses déplacements (accompagnement des enfants dans leurs divers déplacements) pour effectuer ses achats sur son parcours ou sur les lieux d'activités de l'enfant. Ce schéma implique l'usage de plus en plus de modes de transports motorisés pour réaliser ses déplacements d'achats, en l'occurrence la voiture particulière.

Nous considérons que le choix de la localisation des activités de loisirs de l'enfant détermine les pratiques de mobilité d'achat. Notre hypothèse est que les comportements des consommateurs dans leurs pratiques d'achats relèvent des stratégies de constitution d'un capital culturel et social des ménages : les achats ici plutôt que là, telle école et pas telle autre et une activité de loisir ici et pas ailleurs. Ce libre choix a pour conséquence de projeter la sociabilité du ménage dans d'autres espaces que le quartier, et par conséquent renforcer la dépendance du ménage par rapport à la voiture.

1-Méthodologie de recherche

Dans le but d'appréhender les pratiques d'approvisionnement à travers l'analyse de la mobilité urbaine, nous avons eu recours à deux types d'enquêtes, l'une par questionnaire et l'autre par entretiens semi-directifs. Les deux enquêtes, diffusées auprès des ménages, visent à mettre en relief le nouveau comportement spatial du consommateur et le degré de recours à la voiture particulière pour réaliser ses achats.

560 questionnaires ont été diffusés aux ménages par le biais des écoles. Ce choix de méthode répond à un souci d'efficacité. Avec l'appui des enseignants, on peut recueillir beaucoup d'informations en un temps court sur un échantillon très large et très diversifié. Le taux de retour des questionnaires a été élevé : 361 sur 560 ont été retournés, soit un taux de récupération de l'ordre de 66%. On peut en outre sensibiliser les enfants aux questions fondamentales que posent les

¹ Les enquêtes quantitatives sur le transport de marchandises en ville (Bordeaux en 1995, Dijon et Marseille en 1997)

² Nous appelons déplacements en chaînage l'ensemble des déplacements consécutifs effectués par un individu entre son domicile comme lieu de départ et son domicile comme lieu d'arrivée, à condition que le retour soit effectué le même jour.

pratiques quotidiennes de leur famille. Treize établissements y ont été associés, localisés dans des quartiers divers de l'agglomération³ (fig. 1).

La population ciblée a été soigneusement définie et identifiée. L'exhaustivité est matériellement impossible à atteindre. Seule une partie des habitants de nos quartiers-échantillon a été interrogée : les ménages ayant des enfants. L'intérêt de cibler ce type de ménages est double : la présence des enfants dans le foyer fait que la plupart de ces ménages ont la particularité de concilier les responsabilités familiales et professionnelles, ce qui permet de mettre en évidence les pressions temporelles intensifiées par le cumul de responsabilités et leur incidence sur les pratiques d'approvisionnement, notamment l'usage de la voiture ; quant aux personnes qui vivent seul, elles privilégient les transports en commun avant la vie de couple et avant la naissance d'un enfant mais, une fois qu'elles sont mères ou pères, elles optent souvent pour la voiture particulière. Comme l'ont révélé les résultats de l'enquête, la voiture s'impose dès qu'apparaissent des enfants.

Dans un souci affirmé de représentativité, notre panel prend en compte la situation géographique, la diversité démographique, le taux de motorisation et le taux d'activité féminine. Ces critères sont, par ailleurs, à mettre en lien avec nos hypothèses de travail sur la question du choix que font les consommateurs du mode de transport pour leurs déplacements d'achats et sur les facteurs susceptibles de déterminer ce choix.

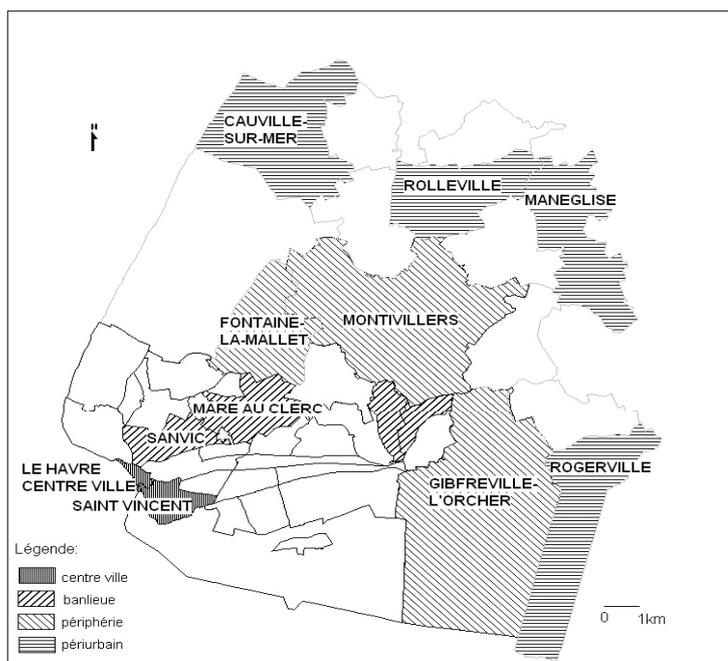


Fig. 1. Les territoires de l'enquête

©M. HANI, CIRTAI, 2006

³ L'aire d'étude de nos travaux et sur laquelle portent nos interrogations se résume à l'espace de l'agglomération, soit un total de 17 communes. Pour des raisons méthodologiques et pour une analyse plus fine, nous avons choisi de travailler sur l'échelle du quartier, avec un total de 43 quartiers. Cependant, l'importance numérique de tous ces quartiers empêche une enquête exhaustive ; le temps et les moyens manqueront pour y parvenir. Par conséquent, un échantillon de 13 quartiers a été constitué (fig. 1).

2-Le chaînage lié aux achats ou quand les loisirs structurent les pratiques

Dans ses recherches sur l'espace Londonien, Miller (2005) a montré que la plupart des personnes interrogées issues de classes moyennes ne fréquentaient pas les magasins de proximité, malgré un discours de soutien affiché en faveur des petits commerces. Elles préfèrent prendre leurs voitures pour aller dans les galeries commerçantes dans la périphérie plus éloignée. Seuls les résidents les plus modestes étaient contraints de s'approvisionner dans leur rue, en regrettant l'absence du supermarché et de centre commercial. Ainsi, le rôle des commerces et des pratiques des consommateurs dans la création des relations dans le quartier a été choisi comme facteur pour appréhender l'insertion des familles dans leurs voisinages (Chevalier, 2007). Selon nous, ce rôle éventuel de l'activité d'achat dans ce processus, ne dépend pas uniquement de la présence et de la diversité des commerces dans le quartier mais surtout de l'ensemble des activités sociales et culturelles des ménages.

Dans notre recherche, nous n'étudions pas le lien entre la localisation du commerce et l'usage de la voiture particulière, dont la force a été soulignée (Beauvais, 2003). Il ne s'agit pas non plus d'entrer dans le débat sur l'impact du changement des formes de commerce sur les comportements spatiaux des consommateurs et inversement (Metton, 2001 ; Moati, Pouquet, 1998). Nous nous sommes surtout attachés à dévoiler l'impact de l'ensemble des activités urbaines sur les pratiques de l'activité d'achat, le rôle de la complexité des chaînes d'activités dans la question du choix que font les consommateurs du mode de transport pour leurs déplacements d'achats. A cette fin, nous nous inspirons, d'une part, de certaines recherches réalisées en géographie commerciale (Desse, 2001) et, d'autre part, d'études concernant les lieux et les temps de la mobilité (Bellanger F., Marzloff B, 1996). Ces travaux révèlent que les pratiques de fréquentation du commerce correspondent plus à une pérégrination qu'à un trajet linéaire.

La pratique du chaînage lié aux achats soulève la question de l'interaction permanente entre activité d'achat, organisation des déplacements et temporalité. En raison, d'une part, de l'éclatement et de la complexification des parcours quotidiens et, d'autre part, du caractère chronographe⁴ de l'activité d'achat, bon nombre de nos interviewés estiment commode d'intégrer les achats dans les chaînes de déplacements. Récurrente et parfois régulière, l'activité d'achat se caractérise par le fait qu'elle est commandée par les heures d'ouverture des magasins qui offrent de larges possibilités (Montulet, Hubert, Huynen, 2007). Sur le plan temporel, l'organisation des achats est donc, probablement moins contraignante, ce qui conduit à les insérer au sein d'autres activités plus contraignantes de ce point de vue (activités scolaires et extrascolaires). Par conséquent, la localisation des activités des enfants va influencer favorablement ou défavorablement ce choix de pratiques. Cette hypothèse est confirmée par nos enquêtes conduites au Havre : la part du chaînage relatif à l'activité d'achat est beaucoup plus élevée pour les ménages dont les enfants pratiquent une activité de loisir (35%) (fig.2). Dans ces ménages on accompagne encore plus souvent les enfants dans leurs déplacements. La double activité dans le couple favorise d'avantage ces pratiques⁵. Le comportement des ménages dans leurs déplacements pour l'activité d'achat est en lien avec ces pratiques d'accompagnement. Il est adopté selon l'organisation des activités des membres du ménage, en l'occurrence celles des loisirs des enfants. De ce fait, la fréquentation du commerce de proximité, s'il existe, est faiblement déterminée par l'offre et sa localisation. Elle est conditionnée surtout par l'agencement des lieux d'activités des enfants. Le déplacement d'achat s'insère donc dans une chaîne de déplacements et d'activités plus complexe que le simple déplacement linéaire « domicile-achat-domicile ».

⁴ Pour reprendre le terme de Montulet, Hubert, Huynen

⁵ Dans notre enquête, nous avons enregistré une fréquence d'accompagnement des enfants très élevée chez le couple biactif par rapport aux autres types de ménages, en l'occurrence le couple inactif.

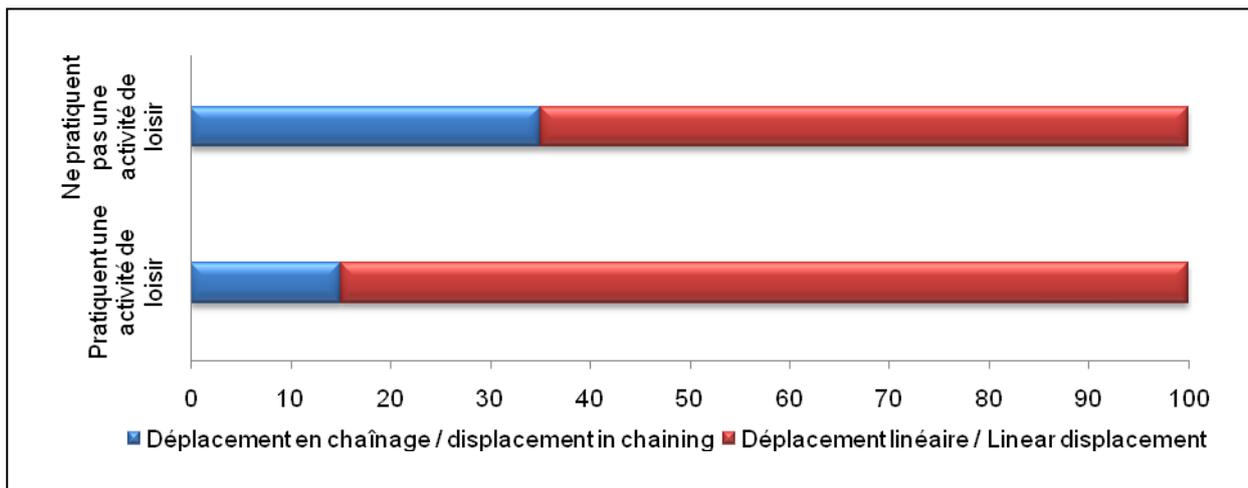
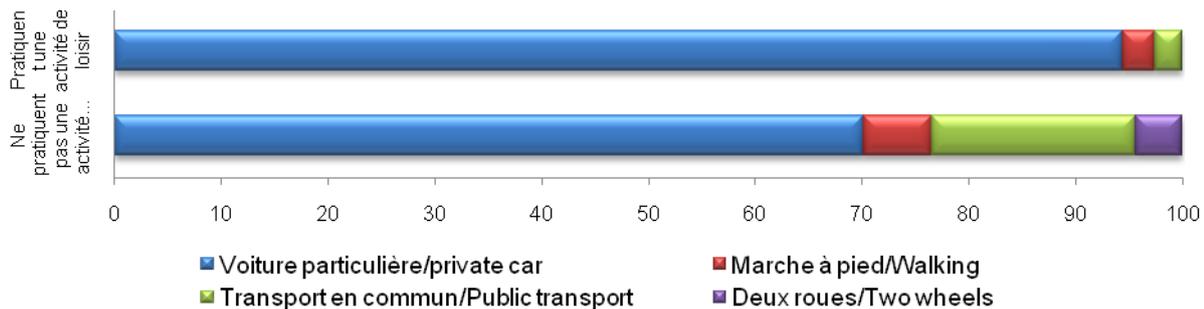


Fig.2. Chaînage de déplacement lié au motif achat selon l'activité de loisir des enfants
 Fig.2. Chaining of displacement related to the reason purchase according to the activity of leisure of the children

Le développement des activités extrascolaires, avec les pratiques d'accompagnement qu'elles engendrent, génère souvent chez ce que nous appelons « *le parent consommateur* » le besoin de trouver d'autres activités sur le parcours ou sur les lieux d'activités de l'enfant afin d'optimiser son temps. L'activité d'achat pourrait bien répondre à ce besoin. Il s'agit de réaliser les achats dans une plage horaire ne chevauchant pas sur les autres activités de la famille, notamment celle des loisirs. Ces pratiques développées par « *le parent consommateur* » lui permettent d'assurer une bonne gestion de ses déplacements tant sur le plan spatial que temporel. M. B. l'un de nos interviewés, résidant dans le centre ville du Havre, décrit la stratégie de sa famille dans la réalisation des courses : « *Souvent, On combine les déplacements, par exemple, on emmène notre enfant faire du sport à Montivilliers et on profite qu'il fasse son sport pour faire des achats sur place et on le récupère après* ». Malgré l'existence du commerce et des services de proximité dans le centre ville⁶, où les achats peuvent se faire à pied ou en bus, la famille préfère s'approvisionner en périphérie en utilisant la voiture. Il s'explique en disant : « *Comme mon enfant pratique du sport à Montivilliers, je ne vais pas faire la route aller et retour, en passant mon temps dans les transports. J'exploite ce temps et cet espace, que j'ai, à faire la corvée des courses. Ça permet de libérer du temps pour faire du loisir ensemble... On est vraiment dans l'optimisation du temps* ». A notre question sur le lien entre le lieu d'achat et le lieu de loisir de l'enfant, il rajoute : « *L'année prochaine, la donne va changer. Le cours de sport de Romain change et devient mardi soir, et par conséquent le jour d'achat va changer* ». Les mêmes comportements s'observent pour les habitants du milieu périurbain. A Rogerville, même si la population a de la chance d'avoir un tissu associatif et sportif assez important, la famille H. préfère que ses enfants aillent à Gonfreville pour pratiquer leur sport favori. M. H. explique en quoi cela pourrait changer leurs habitudes d'approvisionnement : « *Quand je vais conduire les enfants aux échecs à Gonfreville, il m'arrive moi de profiter qu'ils soient à leur activité pour faire un saut à côté, faire un achat auquel je n'ai pas pensé avant* ». Se pose la question du choix de lieux de loisirs de ses enfants et de l'autonomie de ceux-ci dans leurs déplacements quotidiens. Si dans les petites et moyennes villes, les enfants ont de bonnes chances de partager les mêmes structures socioculturelles, la situation est bien différente dans les grandes villes, où la ségrégation sociale des quartiers se reflète dans les lieux de loisirs. La composition sociale du lieu de loisir semble être un déterminant dans le choix des ménages, car elle

⁶ L'agglomération dispose d'un appareil commercial qui se répartit en trois types d'implantation : Le commerce dense de l'hypercentre du Havre qui occupe 73000m² de surface de vente en 2004; Le commerce diffus, structuré en noyaux commerciaux dans les quartiers et les centres des communes (104000m²) ; Les centres commerciaux périphériques organisés autour d'un hypermarché (125700m²).

pèse fortement sur les performances de l'enfant. Ce choix a toujours existé, mais il prend de l'ampleur dans un contexte social caractérisé par l'individualisation des modes de vie et l'importance des valeurs identitaires auxquelles les ménages sont attachés⁷. Le temps de déplacement en famille est estimé comme un instant privilégié de la vie familiale. C'est un moment d'échange et d'intimité notamment quand il est effectué en voiture. Pour les mères actives en temps plein, les déplacements avec leurs enfants sont même considérés comme une manière d'avoir un contact privilégié avec ses enfants au quotidien (Prédali, 2002).



La pratique du chaînage est déterminante dans le choix de mode de déplacements⁸ pour effectuer les achats. De ce point de vue, les transports en commun ne sont pas adaptés ; car ils ne favorisent pas l'intégration des achats dans des chaînes d'activités apparemment complexes. De ce fait, les ménages ne pratiquant pas d'activités de loisirs utilisent massivement les transports en commun pour réaliser leurs achats (fig.3).

31% de ces ménages optent pour d'autres modes de déplacements que la voiture particulière et 10% d'entre eux préfèrent utiliser un moyen de transport non motorisé. En revanche, dans les ménages où les enfants pratiquent au moins une activité de loisir, les déplacements d'achats se font presque toujours en voiture particulière. Pour ces ménages, la présence des activités d'enfants rend indispensable l'usage de la voiture, qui permet facilement de composer les chaînes d'activités complexes.

Ces différences dans le choix du mode de transport s'expliquent, d'une part, par le rapport à l'espace de ces ménages et, d'autre part, par le déroulement de leurs activités, dont les temporalités jouent un rôle primordial.

Conclusion

La réalisation d'un déplacement d'achat ne semble pas dépendre seulement de son motif, mais de la chaîne de déplacement dans laquelle il est intégré. Un déplacement d'achat est effectué de façon différente par un ménage dont les enfants pratiquent des activités de loisirs que par un ménage dont les enfants n'en pratiquent pas. De même, le choix modal ne dépend pas des caractéristiques du seul déplacement considéré mais également du déplacement le plus complexe de la journée ; c'est

⁷ « Dans la société de consommation, les individus, les ménages et les groupes ne demandent pas seulement des biens et des services pour l'usage qu'ils en font mais aussi parce que ce sont des signes de prestige, de distinction, de classement social... (J. Baudrillard, 1970), cité in CHEVALIER.

⁸ La dernière enquête ménage de déplacements menées en 1992 montrent que l'agglomération du Havre compte 850000 déplacements par jour dont 56% s'effectuent en voiture particulière. Le nombre de déplacements effectués en voiture particulière a augmenté d'un tiers entre 1982 et 1992

ainsi que nous avons pu montrer que la sur utilisation de la voiture particulière correspond aux ménages ayant un programme d'activités complexe, en l'occurrence des activités de loisir. Les déplacements extrascolaires peuvent constituer une variable d'entrée intéressante pour saisir les fluctuations tant spatiale que temporelle des déplacements d'achats. Parce que comme nous l'avons montré dessus, ils influencent l'itinéraire du consommateur. Par conséquent, ne faut-il pas penser au facteur enfants comme frein à la faculté de consommer dans les commerces locaux et à l'usage d'un mode de transport autre que la voiture pour réaliser ses déplacements d'achats? Favoriser des pratiques d'achats plus respectueuses de l'environnement, ne devrait-t-il pas passer avant tout par celle des autres pratiques urbaines. Par ailleurs, L'augmentation du prix du carburant nous fait-elle réduire l'utilisation de notre voiture au profit des transports en commun ? nous fait elle renouer avec les pratiques de proximité ?

Bibliographie :

- Beauvais J-M. (2003). « *Distribution des biens de consommations et usage de la voiture particulière pour motif « achat » dans les agglomérations françaises* », rapport de recherche, PREDIT, DRAST, programme transport de marchandises, Tours, 134p.
- Bellanger F., Marzloff B (1996). « *Transit, les lieux et les temps de la mobilité* », paris, Ed. L'Aube, 312p.
- Chevalier S. (2007). « *Faires ses courses en voisin : pratiques d'approvisionnement et sociabilité dans l'espace de trois quartiers de centre ville (Paris, Lyon et Besançon)* », Université de Franche-Comté, Métropoles n°1, 45p.
- Desse R.P. (2001). « *Le nouveau commerce urbain, dynamique spatiale et stratégie des acteurs* », Presse Universitaire de Rennes, Espace et Territoire, 198p.
- Metton A. (1995). « *Les nouveaux acteurs du commerce et leur stratégies spatiales* », actes du colloque européen, Brest, Commerce et Société, 353p.
- Miller, D. (2005). « *Une rue du Nord de Londres et ses magasin : imaginaires et usages* », Ethnologie Française, p 17-25
- Moati P, Pouquet L. (1998). « *Stratégies de localisation de la grande distribution et impact sur la mobilité des consommateurs* », Credoc, 115 p.
- Montulet B, Hubert M, Huynen P. (2007). « *Être mobile. Vécus du temps et usage des modes de transports à Bruxelles* », Facultés Universitaires de Bruxelles, Travaux et Recherches 53, 220p.
- Patier D. (2002). « *La logistique dans la ville* », Editions Celse, paris, 168p.
- Prédali, 2002). « *Les pratiques de mobilité des mères en Ile-de-France* » Communication présentée au colloque AISLF « *Mobilités familiales au quotidien* » 10-12 octobre 2002, Lausanne.
- Wiel M. (1999). « *La transition urbaine* », collection Architecture + Recherche, 149p.

La protection des plaines inondables et la planification des infrastructures routières au Québec : les cas des autoroutes 30 et 35

Bernard McCann*

*Transports Québec, Direction de l'Ouest de la Montérégie,
180, boul. d'Anjou, Chateauguay (Qc) Canada, J6K 1C4 -
Fax : (450) 692-3452 - email : bernard.mccann@mtq.gouv.qc.ca

Abstract

Infrastructure Planning and the Protection of flood plains in Quebec: The case of Highway 30 and Highway 35.

A flood plain is the space occupied by a river or a lake in period of rising, and it corresponds to the geographical extent of the flooded sectors whose limits are generally specified by the dimensions of flood of 20 years recurrence and 100 years recurrence. The will of the government of Quebec to grant an adequate and minimal protection to them was concretized by the adoption of the Policy of protection of banks, the littoral and the flood plains on December 22, 1987. This Policy constitutes a minimal normative framework and binds the government, its ministries and its organizations which must take it into account in their daily exercise.

The ministry for Transport of Quebec in the planning of new road projects must thus take account of the regulations of this policy. However, according to the latter, the new road infrastructures must be carried out outside the flooded plains. However, certain constructions can be allowed if they are the subject of an exemption in accordance with the provisions of the Quebec Planning Act. It is the case of the crossing of the water (Bridges and culverts) and their accesses.

The method consists of a comparative study of two infrastructure projects (motorways) in Quebec. In a particular case, the elements of the policy were taken into account as of the planning of the layout of the future motorway and were the subject of a public discussion at the time of audiences relating to this project. In the other case, the elements of the policy were taken into account only at the time of the final design of the project

Although one cannot affirm with certainty the most favourable moment to integrate the elements of the policy in the planning of an infrastructure of transport, the results of the two exercises show that its taking into account largely improves the projects under several angles, whose principal ones remain:

To ensure the lasting of the water levels and the courses of water;

To prevent the degradation of the flood plains;

To ensure the conservation, quality and biological diversity of the milieu;

*To ensure the safety of the people and the goods;
To protect the flora and the typical fauna of the flood plain.*

Keys-words: *Environmental Impacts, Infrastructures, Impacts of Transportation on Ecosystems, Environmental Legislation, Research for Sustainable Scenarios.*

1. Introduction

Les plaines inondables sont essentielles à la survie des composantes écologiques et biologiques des cours d'eau et des plans d'eau. La volonté du Québec de leur accorder une protection adéquate s'est concrétisée par l'adoption de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables en 1987. Cette politique établit un cadre normatif minimal. Elle n'exclut donc pas la possibilité pour les différentes autorités concernées, dans le cadre de leurs compétences respectives, d'adopter des mesures de protection supplémentaires pour répondre à des situations particulières.

En 1996, on a introduit la possibilité pour une municipalité régionale de comté (MRC) ou une communauté urbaine (L'équivalent québécois d'une « Wilaya ») de faire approuver un plan de gestion de ses rives et de son littoral et d'adopter des mesures particulières de protection. En effet, bien que la politique vise à préciser les types d'intervention qui peuvent, ou non, être réalisés dans les milieux qu'elle vise, le mécanisme du plan de gestion permet de prendre en considération certaines situations particulières, compte tenu de la qualité du milieu ou de son degré d'artificialisation. L'application stricte des règles de la politique dans ce genre de situation ne correspondant pas toujours à la réalité, il peut s'avérer nécessaire d'adopter des mesures différentes tout en garantissant une protection adéquate des milieux riverains, leur mise en valeur et, le cas échéant, leur restauration.

De nouveau en 2005, suite au rapport de la commission Nicolet (Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages (1997)) sur les inondations survenues au Saguenay en juillet 1996, une révision de la politique s'avère nécessaire afin de protéger davantage les plaines inondables et d'élargir le champ d'application des plans de gestion aux plaines inondables.

2. 1 – Les objectifs de la politique

Les objectifs poursuivis par cette politique sont multiples :

- Assurer la pérennité des plans d'eau et des cours d'eau, maintenir et améliorer leur qualité en accordant une protection minimale adéquate aux rives, au littoral et aux plaines inondables ;
- Prévenir la dégradation et l'érosion des rives, du littoral et des plaines inondables en favorisant la conservation de leur caractère naturel ;

- Assurer la conservation et la diversité biologique du milieu en limitant les interventions pouvant permettre l'accessibilité et la mise en valeur des rives, du littoral et des plaines inondables ;
- Dans la plaine inondable, assurer la sécurité des personnes et des biens ;
- Protéger la flore et la faune typique de la plaine inondable en tenant compte des caractéristiques biologiques de ces milieux et y assurer l'écoulement naturel des eaux ;
- Promouvoir la restauration des milieux riverains dégradés en privilégiant l'usage de techniques les plus naturelles possibles.

C'est donc avec le temps, et notamment depuis les pluies diluviennes du Saguenay en 1996, que l'objectif d'assurer la sécurité des personnes et des biens prend de plus en plus d'importance. En effet, le 18 juillet 1996, une gigantesque dépression cyclonique se forme au-dessus du continent nord-américain et le 20 juillet, une importante tempête tropicale couvre l'Est de l'Amérique du Nord. En raison de conditions favorables, cet énorme système nuageux stagne au-dessus du Saguenay. Comme, les sols étaient déjà saturés d'eau, la pluie torrentielle qui s'est alors abattue sur la région glissait tout simplement sur la surface du sol, causant ainsi le débordement de plusieurs cours d'eau et entraînant des dommages aux bâtiments et infrastructures, lesquels dommages ont été évalués à 700 millions de dollars canadiens.

3. Qu'est-ce qu'une plaine inondable ?

Une plaine inondable est une étendue de terre qui devient occupée par un cours d'eau lorsqu'il déborde de son lit. On distingue deux types d'inondation :

- les inondations en eau libre, qui sont causées exclusivement par une augmentation significative de la quantité d'eau dans une rivière ;
- les inondations par embâcle, qui sont causées par un amoncellement de glaces ou de débris dans une section de rivière empêchant la libre circulation de l'eau et pouvant créer un refoulement vers l'amont.

Au Québec, la fonte des neiges au printemps est une cause première de l'augmentation significative de la quantité d'eau dans une rivière. Ce phénomène est étudié et statistiquement maîtrisé. D'autre part, les zones de formation d'embâcles commencent à être connues et répertoriées. Il est donc possible de se prémunir contre ce risque. Par contre, ce sont les événements climatiques extrêmes, comme certaines pluies diluviennes en été, qui ont des répercussions dramatiques sur les milieux environnants. Ces derniers phénomènes ne peuvent faire l'objet de mesures particulières.

Une plaine inondable correspond donc, selon la première définition, à l'étendue géographique des secteurs inondés dont les limites sont précisées par l'un des moyens suivants :

- une carte approuvée dans le cadre d'une convention entre les gouvernements du Québec et du Canada relativement à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation ;
- une carte publiée par le gouvernement du Québec ;
- une carte intégrée à un schéma d'aménagement et de développement, à un règlement de contrôle intérimaire ou à un règlement d'urbanisme d'une municipalité ;
- les cotes d'inondation de récurrence de 20 ans, de 100 ans ou les deux, établies par le gouvernement du Québec ;
- les cotes d'inondation de récurrence de 20 ans, de 100 ans ou les deux, auxquelles il est fait référence dans un schéma d'aménagement et de développement, un règlement de contrôle intérimaire ou un règlement d'urbanisme d'une municipalité.

S'il survient un conflit entre les différents moyens, la plus récente carte ou la plus récente cote d'inondation, selon le cas, dont la valeur est reconnue par le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, prévaut sur l'ensemble autres moyens.

Il n'est donc pas facile de déterminer les limites d'une plaine inondable. De plus en plus, ce sont les côtes d'inondation qui servent de référence. Mais, il y a là un danger d'interprétation. Si toutes les rivières augmentent en volume au printemps de chaque année, leurs rives peuvent jouer un rôle de lit secondaire sans pour autant jouer le rôle de plaine inondable. Alors que la profondeur horizontale de la rive reste constante, l'étendue de terrain occupée par la plaine inondable est susceptible de varier beaucoup d'un endroit à l'autre, en fonction de la topographie du milieu terrestre et de l'altitude atteinte par la crue de récurrence (Protection des rives, du littoral et des plaines inondables, Guide des bonnes pratiques (2002)).

4. Quelles sont les mesures prévues dans une plaine inondable ?

Dans la zone de grand courant d'une plaine inondable, laquelle correspond à la cote d'inondation de récurrence de 20 ans, de même que dans les plaines inondables identifiées sans que ne soient distinguées les zones de grand courant de celles de faible courant, sont interdits toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux, sauf exception . Ainsi, peuvent être réalisés dans ces zones, les constructions, ouvrages et travaux qui suivent, si leur exécution n'est pas

incompatible avec les mesures de protection applicables pour les rives et le littoral:

- les travaux destinés à maintenir en bon état les terrains, à entretenir, à réparer, à moderniser ou à démolir les constructions et ouvrages existants, à la condition que ceux-ci n'augmentent pas la superficie de la propriété exposée aux inondations ; cependant, lors de travaux de reconstruction d'une infrastructure routière, la superficie de l'ouvrage exposée aux inondations peut être augmentée de 25 % pour des raisons de sécurité publique ou pour la rendre conforme aux normes applicables ; dans tous les cas, les travaux majeurs à une construction ou à un ouvrage devront entraîner leur immunisation ;
- les travaux, constructions ou ouvrages qui sont nécessaires aux activités portuaires, à la navigation ou à la construction navale, notamment les quais, les brise-lames, les canaux, les écluses, les aides fixes à la navigation ainsi que leurs équipements et accessoires ; des mesures d'immunisation appropriées devront s'appliquer le cas échéant ;
- les installations souterraines de services d'utilité publique telles que les pipelines, les lignes électriques et téléphoniques ainsi que les conduites d'aqueduc et d'égout ne comportant aucune entrée de service pour des constructions situés dans la zone de grand courant ;
- la construction de réseaux d'aqueduc ou d'égout souterrains dans les secteurs déjà construits mais non pourvus de ces services afin de raccorder uniquement les constructions déjà existantes et faisant l'objet d'un droit acquis ;
- les installations septiques destinées à des constructions existantes ; l'installation prévue doit être conforme à la réglementation sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées édictée en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement ;
- l'amélioration ou le remplacement d'un puits par un puits tubulaire, construit de façon à éliminer les risques de contamination et de submersion ;
- un ouvrage à aire ouverte, à des fins récréatives, autre qu'un terrain de golf, réalisable sans remblai ni déblai ;
- la reconstruction d'ouvrages et constructions détruits par une catastrophe autre qu'une inondation ;
- les aménagements fauniques ;
- les travaux de drainage des terres ;

- les activités d'aménagement forestier dont la réalisation est assujettie à la Loi sur les forêts et à ses règlements ;
- les activités agricoles réalisées sans remblai ni déblai.

Sont également assujettis à une dérogation en vertu de la Loi *sur l'aménagement et l'urbanisme*, certaines constructions, ouvrages et travaux, dont la réalisation n'est pas incompatible avec d'autres mesures de protection applicables pour les rives et le littoral. Les communautés métropolitaines, les MRC ou les villes exerçant les compétences d'une MRC doivent utiliser certains critères lorsqu'ils évaluent l'acceptabilité d'une demande de dérogation. Les constructions, ouvrages et travaux assujettis à une dérogation sont :

- les projets d'élargissement, de rehaussement, d'entrée et de sortie de contournement et de réalignement dans l'axe actuel d'une route existante, y compris les voies ferrées ;
- les ponts et ponceaux, de même que leurs accès ;
- tout projet de mise en place de nouveaux services d'utilité publique situés au-dessus du niveau du sol tels que pipelines, lignes électriques et téléphoniques, les aqueducs et égouts, à l'exception des nouvelles voies de circulation ;
- les puits communautaires servant au captage d'eau souterraine ;
- un ouvrage servant au captage d'eau de surface se situant au-dessus du niveau du sol ;
- les stations d'épuration des eaux usées ;
- les ouvrages de protection contre les inondations entrepris par les gouvernements et municipalités afin de protéger les territoires déjà construits et les ouvrages particuliers de protection contre les inondations ;
- les travaux visant à protéger des inondations, des zones enclavées par des terrains dont l'élévation est supérieure à celle de la cote de crue de récurrence de 100 ans, et qui ne sont inondables que par le refoulement de conduites ;
- toute intervention visant l'agrandissement d'un ouvrage destiné aux activités agricoles, industrielles, commerciales ou publiques de même que l'agrandissement d'une construction et de ses dépendances conservant la même typologie de zonage ;
- les installations de pêche commerciale et d'aquaculture ;

- l'aménagement d'un fonds de terre à des fins récréatives, agricoles ou forestières, avec des ouvrages tels que chemins, sentiers piétonniers et pistes cyclables, nécessitant des travaux de remblai ou de déblai à l'exception des ouvrages de protection contre les inondations et les terrains de golf ;
- un aménagement faunique nécessitant des travaux de remblai et qui n'est pas assujetti à l'obtention d'une autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement ;
- les barrages assujettis à l'obtention d'une autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement.

Dans la zone de faible courant, c'est-à-dire celle qui se situe entre la limite de la zone de grand courant et la limite de la cote d'inondation de récurrence de 100 ans, sont interdits :

- toutes les constructions et tous les ouvrages non immunisés ;
- les travaux de remblai autres que ceux requis pour l'immunisation.

Ainsi, sont permis des constructions, ouvrages et travaux bénéficiant de mesures d'immunisation jugées suffisantes dans le cadre d'une dérogation adoptée conformément à la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme.

5. Autorisation préalable des interventions en plaine inondable

En plaine inondable, les constructions, les ouvrages et les travaux susceptibles de modifier le régime hydrique, de nuire à la libre circulation des eaux en période de crue, de perturber les habitats fauniques ou floristiques ou de mettre en péril la sécurité des personnes et des biens, doivent faire l'objet d'une autorisation préalable. Celle-ci doit être émise dans le cadre de la délivrance de permis, par les autorités municipales ou par le gouvernement, et doivent prendre en considération le cadre d'intervention prévu par les mesures relatives aux plaines inondables, la protection de l'intégrité du milieu ainsi que le maintien de la libre circulation des eaux. Seuls les constructions, ouvrages et travaux relatifs à l'aménagement forestier assujettis à la Loi sur les forêts, et les activités agricoles réalisées sans remblai ni déblai, ne sont pas sujets à une autorisation préalable des municipalités.

6. Le cas des autoroutes 30 et 35

Dans le cas de l'autoroute 35, le ministère des Transports possédait une emprise large de 200 mètres et longue de quelques kilomètres dans la plaine inondable de la Rivière aux Brochet en Montérégie, une région du Québec. Or, les principaux éléments de la politique ont été pris en compte dès la planification du tracé de la future autoroute, le ministère des Transports proposant alors un tracé à la périphérie de la zone de faible courant de la plaine inondable. Lors des audiences

publiques portant sur ce projet, le tracé proposé a fait l'objet d'un débat entre agriculteurs, dont les terres de très bonne qualité se retrouvaient fractionnées et les environnementalistes qui anticipaient les impacts d'un tracé remblayant et scindant la plaine inondable. Dans l'analyse qu'il fit du projet, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, responsable de l'émission du certificat d'autorisation de réalisation, a retenu la proposition du ministère des Transports, tout en lui demandant d'assurer la pérennité de la pratique de l'agriculture dans la zone en établissant un viaduc agricole au centre et des voies d'accès aux extrémités.

Dans l'autre cas, celui de l'autoroute 30 au sud de Saint-Constant, Delson et Candiac (en périphérie de la région de Montréal), ce n'est qu'après l'émission du certificat d'autorisation, et après la conception définitive du projet que les éléments de la politique ont été pris en compte. En effet, c'est lors de la demande de dérogation que les ministères provinciaux consultés, dont l'important ministère de la Sécurité publique, ont demandé certaines précisions au ministère des Transports. Bien que les calculs, servant à déterminer l'ouverture d'une structure enjambant la rivière à la Tortue, pouvaient être considérés convenables, ceux-ci tenant compte d'une crue de récurrence de 100 ans, les analystes s'inquiétaient du fort potentiel d'embâcle sur la rivière. Or, un embâcle peut causer l'obstruction d'une structure et provoquer des refoulements en amont de cette dernière, ce qui n'est pas souhaitable. Les négociations avec les ministères impliqués ont permis d'ajouter au projet une structure dites de décharge dans la mesure où un embâcle pouvait se créer sur la rivière. Cette structure a été placée en retrait afin de lui faire jouer un rôle certain en cas d'embâcle.

7. Conclusion

Si les deux applications de la politique ont permis de protéger les plaines inondables traversées, en modifiant les projets, à quel moment de la planification d'un parachèvement doit on en tenir compte? Bien que l'on ne puisse affirmer avec certitude le moment le plus propice pour intégrer les éléments de la politique dans la planification d'une infrastructure de transports, les résultats des deux exercices démontrent que sa prise en compte améliore grandement les projets sous l'angle de la protection des plaines inondables et de la sécurité publique.

Références

- 1- Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages (1997). *Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages : Rapport Nicolet*, Québec. La Commission, 350 p. plus annexes.
- 2- Goupil, Jean-Yves (2002), *Protection des rives du littoral et des plaines inondables : Guides des bonnes pratiques*, Québec, Service de l'aménagement et de la protection des rives et du littoral. Ministère de l'Environnement et de la Faune : distribué par les Publications du Québec.

Impact du parc automobile sur la congestion du trafic et la pollution de l'air dans la ville de Yaoundé

Alice. Matcheubou *, Joëlle Yamba *, Thomas Tamo Tatiétse **

* Doctorantes à l'Ecole Polytechnique

** Professeur à l'Ecole Polytechnique, Email : thomas_tatiétse@hotmail.com

Abstract

Impact of number of vehicle on both traffic congestion and air pollution in the town of Yaounde.

In Subsaharian African great cities, such as Yaoundé, atmospheric pollution is due to the emission from vehicle engines, which is the first source of urban atmospheric pollution in the continent. This article studies the vehicle park in all her characteristics and shows her externalities on the mobility and on the air pollution. This study shows that the city of Yaoundé is characterized by a progressive rate of motorization, an old vehicle park, a congested urban circulation, an important vehicle pollutants émission due to the urban circulation. To solve this problem of vehicle pollutants émission, the current work shows that an adequate system of urban transport is a key factor of the protection of the quality of the air. The aim of this article is to show that air quality in the urban environment of Yaounde must become the most important interest of environmental protection .so, the decision makers should associate to an automotive park a linear of road network in order to satisfy the needs of the population and to limit the phenomenon of congestion in our agglomerations.

Keywords: *congestion, air pollution, vehicle engines emission, urban environment, Yaoundé.*

1. Introduction

Le réseau de transport urbain dans les pays en développement se caractérise d'une part par son inégale répartition spatiale et d'autre part par la recrudescence du phénomène de congestion des voies. La ville de Yaoundé souffre d'une insuffisance du réseau routier doublée d'une généralisation du système de transport individuel, ce qui provoque des bouchons réguliers rendant difficile la mobilité urbaine. L'incompatibilité du parc automobile avec le linéaire de voirie fait observer des phénomènes de congestion sur plusieurs voies simultanément. Le nombre de véhicules, mais davantage la qualité desdits véhicules déterminent le volume de gaz d'échappement émis.

Etudier l'impact du parc automobile sur la congestion du trafic et la pollution de l'air revient à traiter de manière intégrée les questions relatives l'une à la circulation urbaine et l'autre aux facteurs de la pollution automobile.

Pour montrer l'impact négatif du parc automobile sur la congestion de la circulation d'une part et la pollution de l'air, d'autre part, il s'est avéré nécessaire de procéder à une analyse du trafic et des principaux facteurs de pollution de l'air que sont le nombre et la qualité des véhicules motorisés, la qualité et la quantité d'énergie consommée, afin d'évaluer la quantité de polluants émise. Après la description de l'approche méthodologique, les résultats obtenus font l'objet de la deuxième section, suivie de l'analyse des résultats et des discussions. Les propositions sont formulées dans la conclusion.

2. Méthodologie

La première étape de la recherche des données a consisté à exploiter les registres d'immatriculation de la Direction des Transports Terrestres (DTT) du Ministère des Transports (MINT), en comptant le nombre de véhicules de première immatriculation, notamment en relevant l'année de leur première mise en circulation, le type de véhicule et leur source d'énergie. Ce travail a permis de connaître le nombre, la qualité des véhicules et leur répartition selon la source d'énergie utilisée.

La qualité des véhicules est donnée en considérant l'âge du parc automobile et le type des véhicules motorisés. Ce qui a permis d'établir la répartition par âge et par type des véhicules de première immatriculation à Yaoundé pour les années 2004 et 2006. Leur classification selon le type de carburant a permis de savoir quel est le type d'énergie le plus consommé par le plus grand nombre de véhicules.

Une analyse de la corrélation parc automobile – linéaire de voirie, nous a permis de montrer l'insuffisance du linéaire de voirie à Yaoundé et de faire une estimation du linéaire de voirie en fonction du parc automobile existant.

Pour ce qui est de la méthodologie générale de la quantification de la pollution due au transport, il existe deux méthodes d'évaluation de la pollution de l'air : les mesures et les calculs mathématiques. Face à l'indisponibilité d'appareils de mesure, des calculs mathématiques ont été faits sur la base des données fixes. Selon la Banque Mondiale, les mesures de polluants donnent les quantités des polluants existants dans l'air à un moment donné mais, malgré ces résultats fiables, il est avantageux d'estimer les émissions gazeuses des transports urbains mathématiquement. Cette approche permet d'avoir plus de détails sur la situation actuelle, d'estimer l'évolution de la pollution de l'air et de tester certaines solutions afin d'en déduire leur efficacité.

En ce qui concerne la quantification des polluants émis dans la ville, en l'absence des informations permettant une estimation pour l'ensemble des polluants, nous

avons calculé uniquement la quantité de CO₂ émise à la Poste Centrale aux heures de pointe, puis nous avons estimé la quantité globale de CO₂ émise à l'échelle de la ville à l'aide du nombre de véhicules auquel nous avons appliqué les valeurs guides d'émission du CO₂. Une autre méthode de calcul, celle du GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), nous a permis de valider les résultats obtenus.

L'intérêt que nous portons au CO₂ tient au fait que c'est le principal gaz à effet de serre responsable du réchauffement de la planète.

3. Résultats obtenus

Nombre de véhicules en circulation à Yaoundé : Suivant le taux de croissance du nombre de véhicules à Yaoundé et sur la base des projections du SDAU de Yaoundé, nous avons estimé que le parc automobile est d'environ 151 000 véhicules en 2006.

Tableau 1: Evolution du nombre de véhicules à Yaoundé.

Année	1982*	1990*	2000*	2004**	2006**
Nombre	22 000	54 000	120 000	140 000	151 000

Sources : * SDAU de Yaoundé 1982, ** Estimations

Âge et type des véhicules motorisés de première immatriculation à Yaoundé en 2004 et en 2006 : L'analyse des véhicules motorisés de première immatriculation à Yaoundé montre un vieillissement progressif des véhicules nouvellement importés: en 1999, 65% desdits véhicules avaient plus de 10 ans contre 69% en 2000 MINT (2001). Ce taux est passé à 59% en 2006. Cette baisse ne signifie pas qu'il y a une amélioration de l'âge des véhicules d'occasion importés, elle est plutôt liée au fait que 99% des motos sont neuves. Or le nombre des motos est passé de 116 en 2000 à 6850 en 2006. Dans ce parc on trouve des véhicules de première immatriculation de plus 30 ans aussi bien parmi les camions que parmi les véhicules de tourisme. Ce parc est composé en majorité de véhicules de tourisme (cf. tab. 2 et 3).

Tableau 2 : Répartition par âge et par type du parc automobile immatriculé à Yaoundé en 2004.

Types de véhicules	0 – 5 ans	6 – 10 ans	11 – 15 ans	16 – 20 ans	Plus de 20 ans	total
Véhicules de tourisme	399	707	3707	3460	215	8488
Bus, mini bus autocars	57	20	154	83	30	344
Camionnettes, fourgons	226	45	160	162	46	639

Camions	18	13	84	139	107	361
Motos	4175	9	9	5	10	4209
Total	4875	794	4114	3850	408	14041

Source : Registre 2004 de la DTT du MINT, Service des immatriculations.

Tableau 3 : Répartition par âge et par type du parc automobile immatriculé à Yaoundé en 2006.

Types de véhicules	0 – 5 ans	6 – 10 ans	11 – 15 ans	16 – 20 ans	Plus de 20ans	total
Véhicules de tourisme	446	770	3590	3460	266	7820
Bus, mini bus autocars	74	21	115	83	24	342
Camionnettes, fourgons	188	58	163	162	40	644
Camions	21	25	45	139	59	278
Motos	6827	8	6	5	6	6850
Total	4875	882	3919	3850	395	15930

Source : Registre 2006 de la DTT du MINT, Service des immatriculations.

Source d'énergie des véhicules de première immatriculation de Yaoundé, 2004 et 2006 : Le tableau ci-dessous montre que 18% des véhicules immatriculés à Yaoundé en 2004, utilisent comme carburant le gasoil et 82%, l'essence contre respectivement, 17% et 83% en 2006. 80% de ces véhicules de tourisme et toutes les motos utilisent l'essence comme source d'énergie.

Tableau 4 : Répartition des véhicules de première immatriculation selon le type de carburant.

Types de véhicules	2004		2006	
	Gasoil	Essence	Gasoil	Essence
Véhicules de tourisme	1 408	7 080	1 559	6 159
Bus, mini bus autocars	232	112	297	45
Camionnettes, fourgons	535	104	527	67
Camions	361	0	273	9
Motos	0	4 209	0	6951
Total	2 536	11 505	2 656	13 231

Source : Registres d'immatriculation de 2004 et 2006 de la DTT du MINT, Service des immatriculations.

L'analyse générale des problèmes de la circulation urbaine à Yaoundé nous a permis d'identifier les principales causes de la congestion des voies que sont : la centralité des fonctions urbaines qui a des répercussions très significatives sur la demande en transport, la généralisation des transports individuels qui offre un mauvais rapport personnes transportées/surface occupée, l'hétérogénéité des modes de transport qui handicape sérieusement la fluidité de la circulation, l'utilisation non efficiente de la chaussée par manque d'espaces spécifiques aménagés pour le commerce, le stationnement, les arrêts fréquents des taxis, les piétons par exemple, et l'organisation irrationnelle des transports marquée par l'absence de voies périphériques rendant obligatoire le passage par le centre ville. Ceci induit un trafic important aux heures de pointe de l'ordre de 11 000 véhicules par heure Nouadje (2004).

La demande (les besoins) en transport est en général supérieure à l'offre car la capacité des tronçons de voie est inférieure à la demande réelle. En effet, sur les 54 tronçons routiers représentatifs étudiés par Nouadje (2004), un seul est parcouru à la vitesse normale qui est de 60km/h, le reste est en deçà. Cette situation présente le caractère non fonctionnel de l'espace urbain qui se traduit par une circulation congestionnée : facteur important de la pollution de l'air.

3.1. Calculs théoriques

Estimation du linéaire de voirie de la ville en fonction du parc automobile : une modélisation du linéaire de voirie en relation avec le parc automobile a permis d'établir, par la fonction de lissage, qu'il faudrait 750 km de linéaire de voirie pour 74 532 véhicules dans la ville de Yaoundé, soit un déficit de 50 km par rapport à l'existant en 2000. Ce déficit est allé croissant et pour 151 000 véhicules en 2006, il fallait environ 1 519 km de voirie. Cette corrélation permet d'optimiser les investissements dans le double objectif d'améliorer la mobilité et de faire face aux ressources limitées.

Estimation de la quantité de polluants aux heures de pointe des embouteillages à la Poste Centrale.

Première méthode de calcul : méthode du GIEC

Hypothèses de calcul retenues : Un véhicule en heure de pointe ou non traverse le carrefour de la Poste Centrale en 2 minutes, compte tenu du sens giratoire et de la présence des feux de signalisation. Pendant une heure de pointe 11 000 véhicules traversent le rond point et mettent $11\ 000 \times 2$ minutes soit un temps de pollution de 22 000 minutes ou 366,67 heures.

Admettons avec l'OEE, qu'un véhicule consomme 4 litres de carburant par heure (valeur maximale compte tenu du fait que les véhicules sont surtout de seconde main et souvent mal entretenus). Les 11 000 véhicules consomment à la traversée de la Poste Centrale :

366,67 heures \times 4 litres = 1 466,67 litres de carburant.

Considérons que 17% des véhicules à Yaoundé consomment du gasoil et 83% de l'essence (cf.tab.4), on a : $1\,466,67 \times 17\% = 249,33$ litres de gasoil et $1\,466,67 \times 83\% = 1\,217,34$ litres d'essence.

Estimation de la consommation apparente du gasoil et de l'essence pendant 2 minutes à la poste centrale.

Soient : - M = masse - D = densité - V = Volume du liquide

On a : $M = D \times V$

$M = 0,845 \times 249,33 \text{ litres} = 0,21068 \text{ tonnes de gasoil}$

$M = 0,755 \times 1217,34 \text{ litres} = 0,91909 \text{ tonnes d'essence.}$

Ces chiffres sont convertis en Terajoule : $0,21068 \text{ t} \times 44,33 \text{ tj}/10^3 \text{ t}$ (facteur de consommation du gasoil) = 0,099129 tj et $0,91909 \text{ t} \times 44,80 \text{ tj}/10^3 \text{ t}$ (facteur de consommation de l'essence) = 0,04118 tj. puis multipliés par le coefficient d'émission du carbone (cec) : $0,09\,129 \times 20,2$ (cec du gasoil) = 0,0001 844 Ggr de carbone. $0,04118 \times 18,9$ (cec de l'essence) = 0,0007783 Ggr de carbone

Correction pour tenir compte du carbone non oxydé. Lors de la combustion, 99% du carbone est oxydé. Il faut multiplier les émissions nettes de carbone par 0,99, soit $0,0001844 \times 0,99 = 0,0001826$ Ggr de carbone pour le gasoil et 0, 7705 pour l'essence

Conversion en émissions de dioxyde de carbone (CO₂) : Pour trouver la quantité de dioxyde de carbone produite lors de la combustion, il faut multiplier le carbone oxydé par 44/12, ce qui donne : 0,6695 tonnes de CO₂ pour le gasoil et 2,825 tonnes de CO₂ pour l'essence.

Pour une heure de pointe à la Poste Centrale, la production de CO₂ par les véhicules est égale à $0,6\,695 + 2,825 = 3,4\,945$ tonnes. Pour les 3 heures de pointe de la journée, on obtient 10,4 835 tonnes.

Estimation de la quantité globale de CO₂ émise dans toute la ville

Hypothèses de calcul retenues :

Soient :

- NV le nombre de véhicules à Yaoundé en 2006 : 151 000
- Km/j/v la distance moyenne parcourue par jour et par véhicule : 170km (sachant que les taxis font en moyenne 300 km/j et les véhicules de tourisme 30 km en moyenne/j).

Nombre de véhicules qui consomment du gasoil en 2006 = $151\,000 \times 17\% = 25\,670$ v

Nombre de véhicules qui consomment l'essence en 2006 = $151\,000 \times 83\% = 125\,330$ v

Supposons une consommation moyenne identique.

Pour le gasoil : entre 6,67 et 6,73 litres aux 100 km et pour l'essence : entre 8,25 et 8,68 litres aux 100 km (IFE, 2002). Considérons encore les valeurs maximales. La consommation de gasoil pour 170 km = 11,44 litres et celle d'essence = 14,756 litres

Consommation journalière de gasoil = $25\ 670\ v \times 11,4\ \text{litres} = 293\ 664,8\ \text{litres}$

Consommation journalière d'essence = $125\ 330\ v \times 14,756\ \text{litres} = 1\ 849\ 369,48\ \text{litres}$

La quantité de CO₂ émise par jour dans la ville à l'aide de la méthode du GIEC, suivant les étapes de calcul ci-dessus décrites est 788,2545 tonnes de CO₂ pour les véhicules à gasoil et 4 291,5737 tonnes de CO₂ pour les véhicules à essence.

L'émission journalière de CO₂ dans la ville pour 151 000 véhicules est de : $788,2545 + 4\ 291,5\ 737 = 5\ 079,8\ 282\ \text{tonnes de CO}_2$

La quantité de CO₂ émise par an est de : $5\ 079,8\ 282\ t \times 365\ j = 1\ 854\ 137,293\ \text{tonnes}$

Deuxième méthode de calcul : utilisation des valeurs guides

Hypothèses de calcul retenues : trafic = 11 000 véhicules par heure aux heures de pointe à la Poste Centrale. Une voiture moyenne produit entre 100 et 300 m³ de gaz d'échappement par heure ([www. Ecoconso.be/article](http://www.Ecoconso.be/article)). Nous retenons une fois de plus la valeur maximale.

Estimations de la quantité de gaz d'échappement émise aux heures de pointe à la Poste Centrale.

Soient :

- NV(hp) le nombre de véhicules à l'heure de pointe
- QG(m³/h) la quantité de gaz d'échappement en m³/h
- QG(m³/h)PC la quantité de gaz d'échappement en m³/h de pointe à la Poste Centrale

On a : $QG(m^3 / hp)PC = NVhp \times QG(m^3 / h)$

Soit donc $QG(m^3/h)PC = 11\ 000v \times 300m^3/h$
 $= 3\ 300\ 000m^3/h$

La poste centrale totalisant 3 heures de pointe dans la journée, la quantité de gaz d'échappement émise pendant ces trois heures = 9 900 000 m³

Globalement, ces gaz d'échappement sont composés de 10 à 15% de gaz carbonique ([www. Ecoconso.be/article](http://www.Ecoconso.be/article)). Si nous retenons à nouveau la valeur

maximale, nous pouvons dire que pour les 3 heures de pointe de la journée, on a 1 485 000 m³ de CO₂ à la Poste Centrale.

Estimations de la quantité globale de CO₂ émise dans toute la ville.

Hypothèses de calcul : Une voiture légère produit environ 20kg de CO₂ aux 100 kilomètres (E. Vivier). Km/j/v = 170 km, Supposons une consommation moyenne identique.

En considérant NV = 151 000 et Km/j/v = 170,

On a Km/j/total = 170 x 151 000 = 25 670 000 km/j

La quantité de CO₂ émise par jour est donné par :

$$QCO_2 / jour = \frac{(20kgCO_2 \times Km / j)}{100}$$

Soit

donc

$$QCO_2 / jour = \frac{(20kgCO_2 \times 25670000Km / j)}{100} = 5134000kgCO_2 / j$$

La quantité de CO₂ émise par an est :

$$QCO_2 / an = QCO_2 / jour \times 365 j = 5\,134\,000 \times 365j = 1\,873\,970\,000 \text{ kg de } CO_2$$

Soit 1 873 970 x10³ kg de CO₂.

3.2. Analyse et interprétation des résultats obtenus

Âge et type des véhicules motorisés : Le délabrement du parc automobile est un facteur important de pollution. En effet, des études assez contrôlées sur le moteur thermique ont montré que plus un moteur est vieux, plus il brûle mal son carburant, libérant ainsi des substances imbrûlées qui polluent l'atmosphère. Une étude menée à Yaoundé sur 32 véhicules (16 à essence et 16 au gasoil) pendant 15 jours, ressort que la teneur en plomb varie suivant un ordre croissant, du véhicule le plus jeune au véhicule le plus vieux Hibrachim, (2001).

Dans les pays développés, la durée de vie d'un véhicule est fonction du kilométrage et des valeurs moyennes d'émission de CO₂ au kilomètre. Au Cameroun, la durée de vie d'un véhicule n'a pas le même sens, il convient de parler plutôt de l'âge d'un moteur, car un véhicule peut changer plusieurs fois de moteur au cours de son existence, essentiellement les véhicules en usage pour le transport public qui sont les plus nombreux. Ces moteurs de rechange qui sont tous d'occasion importés, sont ceux qui ont été jugés défectueux en occident à cause justement de leur taux d'émission de CO₂ supérieur à la norme européenne qui est de 186g. Avec cette pratique le Cameroun s'approvisionne de jour en jour en sources de carbone.

Qualité des carburants et pollution de l'air : L'essence et le gasoil utilisés par les véhicules motorisés sont constitués d'éléments différents qui émettent des produits toxiques et dangereux au cours de leur combustion. Depuis 1993, l'adoption des pots catalytiques et de l'essence sans plomb dans les pays producteurs de véhicules font que certains véhicules anciens de plus de 12 ans, doivent encore utiliser l'essence plombée. Or depuis 2004, le Cameroun a adopté l'utilisation de l'essence sans plomb, tout en continuant d'importer des véhicules de tourisme de plus de 15 ans et même de 30 ans qui ne sont pas catalysés.

Quantité de polluants émise : Nous avons trouvé en utilisant la méthode du GIEC que la quantité de CO₂ émise en 2006 est égale à $1\,854,137 \times 10^3$ tonnes. L'application de la méthode de E. Vivier montre que la quantité de CO₂ émise en 2006 est égale à $1\,873,970 \times 10^3$ tonnes.

L'écart entre les deux méthodes n'est que de 19 832,707 tonnes, soit 1,06% de la valeur trouvée avec la méthode de E. Vivier [$(19\,832,707 \times 100) / 1\,873\,970$] et 1,07% de la valeur trouvée avec la méthode du GIEC. Cette variation de 1% n'est pas trop forte.

4. Discussions

Nombre de véhicules : Si le nombre de véhicules de tourisme a une croissance régulière, celle du nombre des motos est plutôt exponentielle. Le taux de motorisation n'était que de 11,6% CAVIE (2002) pour les véhicules particuliers à Yaoundé en 2002. Ce taux n'était pas élevé pour cette ville, capitale d'Etat, au regard de ce qui s'observe dans les autres villes de même taille. Ce qui voudrait dire que s'il y a congestion sur les voies urbaines, c'est d'abord un problème d'insuffisance de structures, qu'un problème de nombre de véhicules, pour ne parler que de ces deux facteurs de congestion. De façon générale, la motorisation dans les pays en développement reste encore faible.

La mobilité et la pollution de l'air : l'incompatibilité du parc automobile avec le linéaire de voirie, ainsi que la concentration des horaires de travail font observer des phénomènes d'engorgement du trafic par l'existence des embouteillages de plus en plus persistants qui allongent les temps de déplacement, favorisant ainsi une consommation accrue d'énergie et partant, une émission de gaz d'échappement au même rythme.

Selon le Programme Ecoflotte de l'Office de l'Efficacité Energétique (OEE), un moteur au ralenti a entre autres effets négatifs, d'augmenter la production des gaz d'échappement polluants dus au fait que le ralenti correspond à 0 km au litre. En effet, au ralenti, les moteurs à essence consomment entre 2,5 à 4 litres de carburant par heure alors que le moteur diesel en consomme entre 1 et 4 litres, ce qui contribue à augmenter la quantité d'énergie consommée pour une faible distance parcourue et parallèlement une production accrue de gaz d'échappement, en rapport avec le temps mis pour le déplacement, donc, la pollution automobile à

Yaoundé est davantage liée au temps de déplacement plus qu'aux kilomètres parcourus.

Source d'énergie et pollution : Le type de carburant utilisé détermine la composition des gaz d'échappement des véhicules motorisés. Cependant, ce paramètre ne peut à lui seul permettre une bonne lisibilité de la quantité de polluants émise dans l'atmosphère. A cela il faudra ajouter la quantité d'énergie consommée par chaque type de véhicules, tenir compte de l'âge desdits véhicules et calculer leur nombre en fonction du trafic sur les différents axes. Ces données n'ont pas été disponibles pour une telle évaluation dans le présent article.

Quantité de polluants émis : Cette pollution due au transport urbain a été en partie estimée pour donner une idée de la pollution de l'air à Yaoundé. Les méthodes du GIEC et de E.Vivier donnent des résultats très proches qui tranchent nettement avec ceux obtenus par le Laboratoire d'Energie de l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé obtenus selon l'analyseur de fumée TESTO 325 et les calculs par la méthode de Grais.

D'après les travaux dudit Laboratoire, la quantité de polluants émis dans la ville se présente comme suit :

Tableau 5 : Quantité annuelle de polluants émis dans la ville par les véhicules en 2005

Types de véhicules	Quantité totale de polluants émis par an (en tonnes)			
	CO ₂	CO	HC	NO _x
Véhicules de tourisme	4,4 × 10 ³	221	335	1,2 × 10 ³
Camionnettes, fourgons	17,3 × 10 ³	416	424	1,7 × 10 ³
Bus	15,8 × 10 ³	345	612	2 × 10 ³
Camion	36,9 × 10 ³	177	981	4,3 × 10 ³
Total	74,4 × 10 ³	1 159	2 352	9,2 × 10 ³

Source: Estimation of atmospheric pollutants coming from vehicle in Yaoundé city, ENSP, Yaoundé, 2006.

Un rapprochement entre ce tableau et la tableau 4, permet d'affirmer que les véhicules de tourisme, plus nombreux, consommant à plus de 80% l'essence super polluent moins que les camionnettes, les bus et les camions, moins nombreux, qui consomment essentiellement le gasoil.

A partir des données mesurées, ce Laboratoire a fait une projection sur 15 années des émissions de polluants comme suit :

Tableau 6 : Quantité de polluants estimée dans la ville en 2020

Quantité totale de polluants en 2020 (en tonnes)	CO ₂	CO	HC	NO _x
		7 × 10 ⁶	12 000	22 152

Source: Estimation of atmospheric pollutants coming from vehicle in Yaoundé city, ENSP, Yaoundé, 2006

Ce tableau montre que la ville de Yaoundé en 2020 aura atteint un niveau de pollution très élevé si des mesures ne sont pas prises pour réduire cette pollution due au transport urbain. Or ces données de 2005 qui ont servi de base pour la présente projection de pollution, ne tiennent pas compte des motos dont le nombre croît de manière exponentielle et qui élèvent considérablement le taux de pollution par habitant.

5. Conclusion

Il ressort de tout ce qui précède que la qualité de l'air se dégrade au regard de l'augmentation du CO₂, dans la ville de Yaoundé. Celle-ci participe ainsi à l'aggravation de l'effet de serre et à la dégradation de la couche d'ozone. Le principal responsable étant le transport urbain.

Le nombre élevé de véhicules, l'âge et le type des véhicules motorisés, la qualité et la quantité des sources d'énergie sont les principaux facteurs de pollution, cependant, le mauvais état de la voirie, la mobilité urbaine congestionnée et les conditions naturelles défavorables (pentes importantes, temps chaud) interviennent également pour contribuer à élever le taux de pollution dans la ville.

Cette étude a permis d'évaluer l'impact du transport sur la qualité de l'air à Yaoundé. On en retient que, pour préserver la qualité de l'air à Yaoundé, il faut repenser et mieux organiser le transport urbain en agissant sur tous les éléments du système : trafic, état des véhicules, état de la voirie, qualité des carburants. Il s'agit d'une mesure de gestion efficace de la demande dans le double but de satisfaire la mobilité urbaine tout en réduisant le taux de pollution par habitant.

Pour une bonne gestion de la qualité de l'air ambiant, Il convient donc qu'au Cameroun, comme c'est déjà le cas au Nigéria par exemple que le gouvernement se dote des normes de pollution, que la visite technique des véhicules qui n'est basée que sur la vérification des principaux organes pour qu'une voiture soit en sécurité, puissent également s'intéresser au moteur dont un mauvais réglage entraîne la production excessive des gaz d'échappement polluants, et enfin qu'une modélisation du parc automobile – linéaire de voirie puisse permettre une adéquation entre l'offre et la demande des transports urbains, en vue de la fluidité de la circulation.

Références

- 1- Banque Mondiale (2004) : Etude sur la qualité de l'air en milieu urbain : cas de Douala, Cameroun, Clean Air Initiative in Sub Saharian African Cities.p.13-60.
- 2- CAVIE (2002) : Enquête sur le cadre de vie des populations, Institut National des Statistiques, Yaoundé.
- 3- GIEC (1996) : Lignes directrices du Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, Version révisée. p.1.5-1.61.
- 4- Hibrahim (2001) : Evaluation du taux de plomb rejeté par l'automobile dans l'environnement, Mémoire de DEA, Université de Yaoundé I.
- 5- IFE (2002): Institut français de l'environnement, 2002, L'environnement en France, La découverte, Paris, P.457 (606p)
- 6- Ministère des Transports (2001) : Cellule des Etudes et des Statistiques (CES), Banque des données des transports, *transport statistics* bulletin, n° 2 Juillet. p.10-15.
- 7- Nouadje Kaleu F. (2004) : Approche de modélisation de la fluidité du trafic automobile et linéaire de voirie urbaine : Cas de Yaoundé, Mémoire de DEA, Université de Yaoundé I. p.27-59.
- 8- L. Yamba joelle (2008) : Mise en place d'un système de modélisation du linéaire de voirie en relation avec le parc automobile et la croissance démographique : cas de la ville de Yaoundé, Mémoire de DEA, ENSP Yaoundé. P 56.
- 9- OEE, Office de l'Efficacité Energétique, Programme Ecoflotte, <http://oeer.ncan.gc.ca/ecoflotte>.
- 10- Meukam P. & I. Moungnoutou (2006): Estimation of atmospheric pollutants coming from vehicle in Yaoundé city. Laboratoire d'Energie, Article, IC/IR/2006/012, MIRAMARE-TRIESTE, p.10.
- 11- Réseau éco-consommation (2004) : Les carburants automobiles. *Les dégagements gazeux polluants*. [http : // www. Ecoconso.be/article 134 html](http://www.Ecoconso.be/article_134.html)
- 12- Vivier E. Bilan O₂ / CO₂, Article, Revue Nord Nature, N° 85.

An integrated model to evaluate road traffic emissions in wide-area planning

Luigi Piemontese * & Francesco Pisano *

*University of Naples "Federico II", 80100 Naples, Italy

Fax +39 081 25 38 616 - email: piemonte@unina.it, fr.pisano@virgilio.it

Résumé

Dans cette communication on donne une description d'un modèle intégré pour la détermination des émissions dues à la circulation routière et l'évaluation de différents scénarios pour la planification territoriale. Le modèle fait partie d'un Système de Support aux Décisions (SSD), qu'on a projeté à l'Université de Naples, pour aider les urbanistes leurs donnant des indicateurs quantitatifs pour évaluer leurs choix. Attendu que la planification territoriale doit être soumise à l'évaluation stratégique de l'environnement, selon la directive 2001/42/CE et que les véhicules provoquent un fort impact, on a prévu dans le SSD ce modèle intégré. Le modèle a été calibré et appliqué au Plan Général Territorial de la province de Latine et ici on présente les premiers résultats.

Mots-clefs: *planification territoriale, modèles de simulation, émissions due à la circulation routière, pollution de l'air, méthodologie pour un développement soutenable.*

1. Introduction

In developing the General Provincial Territorial Plan (GPTP) of Province of Latina, the authors have decided to specify a Decision Support System to give a useful aid to define outlines of wide-area planning and to evaluate choices taken by the planners. The Province of Latina is located in the southern side of Lazio with an area of about 2240 square kilometres. The Province is divided into 33 municipalities and in the year 2007 there was a total of 528663 residents. Two main homogeneous territorial systems can be identified with regards to historical and economic features: a) the northern pontine area, including more than 65% of industrial settlements on the total of the Province and where it is also developed intensive agriculture; b) the southern pontine area including the most important tourist centres of southern Lazio. These two areas of provincial territory are also characterized by different urban models. In fact, the results of land-use analysis show that in northern area we can found a widespread urbanization while in the southern area we have a concentrate urbanization especially along main road network. For what concerns the road network, it is based on two parallel main axes that run from South-East to North-West, and on a set of less relevance

transversal roads that join the coast and inland areas. Main axes connect the Province of Latina to the Province of Caserta in the South and Rome in the North. In wide-area plans, as GPTP, outlines for socio-economic growth have to be defined. To achieve this goal, new areas for industrial compounds expansion have been marked off and new locations for public utilities have been identified. So that this plan does effective, great attention has been taken over the reorganization of mobility system and several projects about rail transport and road network have been scheduled. In particular, the results of transport studies show that in Province of Latina there are several problems, related to the mobility system, which induce poor quality of life and poor environmental quality:

- 1) heavy exchange and crossing traffic (with origin, destination or both located outwards of Province);
- 2) poor road network connecting coastal activity system and inland socio-economic system;
- 3) poor quality level of lengthwise links.

The consequences are that we have very high travel time both in business and entertainment travels; very high costs, both monetary and environmental, sustained by the community; very low ability in attracting tourism compared to the resources of provincial territory. To solve these problems, authors and their team have defined three courses of action:

- 1) the realization of a high quality road connection along longitudinal axis to improve on North-South relationships;
- 2) the increase and improvement of the set of transversal roads that play the role of adduction to longitudinal axes;
- 3) the decrease of travels by car with reorganization of public transport and realization of a system of rapid transit connecting main urban areas and main seaside centres.

2. Objectives

During planning process we had two needs. On the one hand we intended to check the impacts of working hypothesis about activity localization and road network layout in terms of accessibility and travel time to reach different destinations. On the other hand GPTP had to be submitted to Strategic Environmental Assessment (SEA), being a wide-area planning tool, as provided for by Directive 2001/42/CE, recognized in Italy by Decree-Law n. 152/2006 and by Decree-Law n. 4/2008. So, our aim has been to specify a Decision Support System (DSS) to define alternative policies to plan and govern a wide-area. Then, in DSS, we have included a Land Use-Travel Demand System of Models to evaluate projects and plans provided for a wide-area plan and, in particular, to compare different

choices about activity localization and road network layout. From the point of view of environmental assessment, considering that road transport induces very significant environmental pressures (available data, from European Environment Agency and referred to year 2005, show that transport –excluding international aviation and maritime transport– has contributed to about 21% of total greenhouse gas emissions in the 15 countries of the European Union before the expansion on 1 May 2004 and 56% of total NOx), we have assumed the problem of emissions from road vehicles and energy consumption as the main concern for sustainable development of Province of Latina territory. To estimate road traffic emissions in different scenarios, concerning different socio-economic system organizations and road network layouts, we have included in the Land Use–Travel Demand System of Models this submodel the results of which we are going to talk about in next paragraphs.

3. The method

In figure 1 it is described with a flow chart the Decision Support System for territorial planning and government where it is included the Land Use–Travel Demand System of Models consisting of some mathematical submodels that give quantitative indicators, when it is possible, to simulate and evaluate the effects of different policies. The Integrated Model to Evaluate Road Traffic Emissions includes the assignment model of traffic to road networks and some models to calculate emissions in air of different pollutants in different network layouts. It is based on transportation engineering approaches to specify and calibrate the traffic assignment model and on the most recent revision (December 2007) of the EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook to estimate emission factors produced by road traffic. The integrated model can be expressed formally as follows:

$$\mathbf{f}_{m,t} = \mathbf{A}_m \mathbf{P}_m(\mathbf{C}_m) \mathbf{d}_{m,t}$$

$$E_{TOTAL,i,k,t} = E_{HOT,i,k,t} + E_{COLD,i,k,t} = \sum_l p_{k,l,t} \times f_{m,l,t} \times L_l \times e_{HOT,i,k,l} + \sum_l p_{k,l,t} \times f_{m,l,t} \times L_l \times \beta_{i,k} \times e_{HOT,i,k,l} \times (e_{COLD,i,k,l} / e_{HOT,i,k,l} - 1)$$

where,

$\mathbf{f}_{m,t}$ = vector of link flows related to transport mode m (for example car or bus) and period t;

\mathbf{A}_m = matrix of incidence, links×paths, related to transport mode m;

$\mathbf{P}_m(\mathbf{C}_m)$ = matrix of path's probability of choice, paths×OD pairs, related to transport mode m and depending on path costs;

$\mathbf{d}_{m,t}$ = vector of travel demand in period t by mode m;

$E_{TOTAL,i,k,t}$ = total emissions [g] of pollutant i for vehicle class k in period t;

$E_{HOT,i,k,t}$ = emissions [g], during stabilised (hot) engine operation, of pollutant i for vehicle class k in period t ;

$E_{COLD,i,k,t}$ = emissions [g], during transient thermal engine operation (cold start), of pollutant i for vehicle class k in period t ;

$p_{k,l,t}$ = percentage of vehicle class k , on link l in period t ;

$f_{m,l,t}$ = vehicle flow of transport mode m , on link l in period t ;

L_l = length [km] of link l ;

$e_{HOT,i,k,t}$ = average emission factor [g/km] for pollutant i , for vehicle class k , on link l , with thermally stabilised engine and exhaust aftertreatment system in period t ;

$\beta_{i,k}$ = fraction of mileage driven with cold engines or catalyst operated below the light-off temperature for pollutant i and vehicle class k ;

$e_{COLD,i,k,l} / e_{HOT,i,k,l}$ = cold over hot ratio for pollutant i , vehicle class k and link l .

For what concerns transport modes and classes of vehicles, according to data provided by Italian Automobile Club, we have considered passenger cars, buses, motorcycles and commercial vehicles as transport modes; pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3 and Euro 4 as legislation classes; gasoline powered vehicles and diesel vehicles as fuel typology. Finally, we have adopted the detailed methodology proposed by the Emission Inventory Guidebook, where emission factors are calculated by speed-dependent mathematical expressions, because the vehicle speed has a major influence on the emissions in air and our assignment model estimates an average speed for each link of road network depending on congestion of the link itself.

4. Results and conclusions

Actually we are testing our model on provincial road network consisting of 2353 links, 1534 nodes and 67 centroids. We have built scenarios described in table 1 and in this note we present early results related to scenarios 0, 7 and 8. In particular, we have simulated scenario 0, that we have assumed as reference scenario, with actual organization of socio-economic activities and road network. Then we have simulated and compared scenarios 7 and 8. Both in scenario 7 and scenario 8 we consider a large-scale hypothesis of reorganization of main productive activities and public utilities. For what concerns road network layout, in scenario 7 we test the hypothesis of realization of a highway from Rome to Latina and the hypothesis of improvement of the other main connection axes. In scenario 8 we hypothesize the improvement of the North-South connection by realizing a highway from Rome to Formia. Also in this scenario it has been included the improvement of the main transversal roads (see fig. 2). Finally, we have assigned actual travel demand to the scenarios described (in reference to a

weekday peak period t of 2.5 hours), we have estimated traffic loads and average speed for each link, road traffic emissions and we have defined a set of performance indicators related both to mobility and environment. In table 2 the results are referred. The importance of our model depends on its power:

- a) to allow ex-ante and ex-post evaluations;
- b) to evaluate the weight of different factors that affect pollutant emissions;
- c) to estimate quantitative indicators;
- d) to estimate pollutant emissions in each transportation zone or in each municipality;

because, in Italy, both Environment Protection Agency (APAT) and New Technologies, Energy and Environment Agency (ENEA) have the task to calculate the inventory and projection of pollutant emissions for each year but their results are too much aggregate and they don't allow any evaluation as the ones above mentioned. In Italy, an approach similar to our one has been adopted only by few other local governments as, for example, Lombardia Region and the Province of Reggio Emilia. The results of these early applications confirm the importance of having some quantitative indications to evaluate the effects due to decisions often taken on the basis of one's own experience in particular planning on a wide-area where a too large number of variables play a role. Actually, at University of Naples, we are attending to simulate the other scenarios and estimate the future travel demand. In next simulations we will also consider the vehicles replacement trend from euro 0 to euro 4 and following classes.

Acknowledgments

The authors wish to thank the Plan Office of Province of Latina, in particular arch. P. C. Buono, that has cooperated with them to calculate traffic loads on road network links and arch. L. Testa who has attended to organize database and edit illustrations.

References

- 1- Ben Akiva M., Lerman S. (1985): Discrete choice analysis–Theory and application to travel demand, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- 2- Berechman J. & Gordon P. (1986): Linked models of land use-transport interactions, Advances in Urban Systems Modelling, Hutchinson B. & Batty M. (eds.), North-Holland, Amsterdam, the Netherlands.
- 3- Cascetta E. (2001): Transportation Systems Engineering: Theory and Methods, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- 4- de la Barra, T. (1989): Integrated Land Use and Transport Modelling, Cambridge University Press, Cambridge, England.

- 5- Echenique M.H. (1985): The use of integrated land use transportation planning models: the cases of Sao Paulo, Brazil and Bilbao, Spain, The Practice of Transportation Planning, Florian M. (ed.), Elsevier, Netherlands.
- 6- Echenique M.H., Flowerdew A.D. et al. (1990): The MEPLAN models of Bilbao, Leeds and Dortmund, Transportation Reviews 10, p. 309-322.
- 7- FHWA (1992): Transportation and Air Quality-Searching for Solutions, A Policy Discussion Series, FHWA-PL-92-029, U.S. Dept. of Transportation, Washington, D.C.
- 8- Guensler R. (1993): Critical needs in land use, transportation and air quality, Transportation Research News 167:21B23.
- 9- Lundqvist L. & Mattsson L.G. (1983): Transportation systems and residential location, European Journal of Operations Research 12:279B294.
- 10- Miller E.J. et al (1999): Research and Development Program for Integrated Urban Models, Transportation Research Record 1685, TRB, National Research Council, Washington D. C.
- 11- Montella B. (1996): Pianificazione e controllo del traffico urbano–Modelli e metodi, CUEN srl, Napoli, Italy.
- 12- Piemontese L. (1979): Pianificazione territoriale: sistemi e modelli, Liguori Editore, Napoli, Italy.
- 13- UNECE/EMEP Task Force on Emissions Inventories and Projections (2007): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, Technical report No 16/2007, available in electronic form via the European Environment Agency's Internet website (<http://www.eea.europa.eu>).
- 14- Wegener M. (1996): Reduction of CO₂ emissions of transport by reorganisation of urban activities, Land Use, Transport and the Environment, Hayashi Y. & Roy J. (eds.), Kluwer Academic Publishers Dordrecht, the Netherlands, p. 103-124.
- 15- Wegener M. (1998): Applied models of urban land use, transport and environment: state of the art and future developments, Network infrastructure and the Urban Environment: Recent Advances in Land use/Transportation modelling, Lundqvist L., Mattson L.G. & Kim T.J. (eds), Springer, Berlin, Heidelberg, New York, p. 245-267.

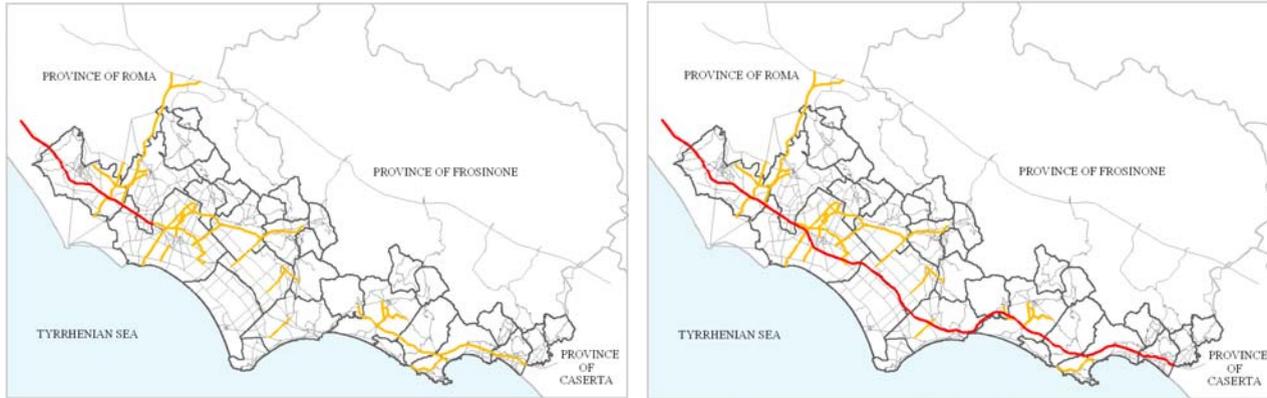


Figure 2: Representations of Scenarios 7 and 8.

Table 1: Main characteristics of simulation scenarios.

Socio-economic shape of territory / Road network layout	Actual	Intermediate road network layout	Complete road network layout
Actual	Scenario 0	Scenario 1	Scenario 2
Intermediate reorganization of main economic activities and public utilities	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Complete reorganization of main economic activities and public utilities	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8

Table 2: Early results related to Scenarios 0, 7 and 8

Indicators / Scenarios	Scenario 0				Scenario 7				Scenario 8			
Percentage of links with saturation level > 0.9	12.4%				17.8%				9.50%			
Average speed	56.8 km/h				54.1 km/h				59.1 km/h			
Total travel time	1077205 veic×h				2506889 veic×h				1052009 veic×h			
Total distance on road network	2712360 veic×km				1472164 veic×km				2758155 veic×km			
Percentage variation of hot emissions for gasoline passenger cars (Euro 1-4)	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
CO	-	-	-	-	+32	+42	+49	+61	na	na	na	na
HC	-	-	-	-	+34	+20	+26	+12	na	na	na	na
NOx	-	-	-	-	+34	+9	+14	+4	na	na	na	na
PM	-	-	-	-	+6	+6	+8	+8	na	na	na	na
na = not yet available												

Inventaire des émissions du parc des véhicules routiers en Algérie

Noredine Driassa¹, Ménouèr Boughedaoui¹, Saâdane Chikhi¹, Rabah Kerbach², Robert Vidon³, Michel André³, Robert Joumard³

¹ Université de Blida, Faculté des sciences de l'ingénieur, Blida, Algérie boughedaoui@wissal.dz

² Ecole Nationale Polytechnique, Dépt Génie de l'Environnement, Alger, Algérie r_kerbachi@yahoo.fr

³ INRETS-LTE, case 24, 25 avenue Mitterrand, 69675 Bron cedex, France joumard@inrets.fr

Abstract

The inventory has become an important tool not only for the development of strategies for environmental protection and for emission control of pollutant emission but also a tool for international negotiation such as the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the Kyoto Protocol. The emission inventory methodology by tier 1 (default) of the UNFCCC is based on fuel consumption. The objective of this work is to establish an inventory of emissions from road transport sector in Algeria for the period from 1980 to 2005.

Input data for calculation of inventory are determined by the constitution of a database constructed from the results of investigations carried out several times in different sites and cities in Algeria, with emission factors based on the unit measurements for VUL and supplemented by factors emissions of European models of Copert III and Artemis. The methodology Copert III is used for the calculation of inventory. The vehicles considered in this study are: passenger vehicles (PV), light goods vehicles (LGV), heavy (VPL), including trucks and tractors, buses and coaches (VTC), the two wheels (motorcycles and motorbikes), farm tractors and special machinery are excluded from the study given the lack of data available and the difficulty to be estimated.

Keywords: *Inventory, emission, pollutant, Copert III, Artemis, road transport, Algeria*

Résumé

L'inventaire est devenu un outil important non seulement pour le développement de stratégies de protection de l'environnement et de lutte contre les émissions polluantes à la source mais aussi un outil de négociation à l'échelle internationale telle que la convention des Nations unies sur les changements climatiques et le protocole de Kyoto. L'inventaire des émissions selon la méthodologie tier 1 (par défaut) de l'UNFCCC est basé sur la consommation de carburant.

L'objectif de ce travail est de dresser l'inventaire des émissions du secteur des transports routier en Algérie pour la période de 1980 à 2005. Les données d'entrée du calcul d'inventaire sont déterminées par la constitution d'une base de données construite à partir des résultats d'enquêtes effectuées, avec les facteurs d'émissions unitaires basées sur la mesure pour les VUL et complétés par des facteurs d'émissions des modèles européens Copert III et Artemis. La méthodologie Copert III est utilisée pour le calcul d'inventaire. Les véhicules considérés dans cette étude sont : les véhicules particuliers (VP), les véhicules utilitaires légers (VUL), les poids lourds (VPL) comprenant les camions et les tracteurs routiers, les autobus et autocars (VTC), les deux roues (mobylettes, motocyclettes), les tracteurs agricoles et les engins spéciaux sont exclus de l'étude compte tenu de l'absence de données disponibles et de la difficulté à les estimer.

Mots-clefs : *inventaire, émission, polluant, Copert III, Artemis, transport routier, Algérie*

1. Introduction

En Algérie, le transport routier est le moyen de transport le plus usuel, que ce soit pour le transport de personnes ou des marchandises : soit environ 85% des déplacements de personnes s'effectuent par voie routière. Le développement des infrastructures routières est révélateur de la stratégie choisie par le gouvernement qui a misé dans son plan d'aménagement du territoire sur le transport routier comme solution principale à court terme. La réception en 2009-2010 du réseau autoroutier d'Est en Ouest et le développement de la rocade des Hauts Plateaux avec des pénétrantes les liants à l'autoroute au nord du pays permettront non seulement d'améliorer la fluidité des flux mais aussi la croissance du trafic et probablement le kilométrage annuel des véhicules. Ce travail consiste à étudier le parc véhicule roulant en Algérie et à développer une base de données relative à ce parc par usage et catégorie de véhicule afin d'établir l'inventaire global des émissions de polluants issus du trafic routier à l'échelle nationale. Il constitue un outil d'évaluation des émissions polluantes issues du trafic routier et de leurs impacts sur la qualité de l'air à la disposition des décideurs et des collectivités locales. Il permet aussi l'évaluation des impacts sur l'environnement des politiques et mesures dans le secteur des transports routiers.

2. Méthodologie

La mobilité motorisée avec des véhicules particuliers dépend étroitement de la structure de la ville et de son urbanisation. C'est pour avoir des données représentatives de l'usage réel des véhicules en Algérie que plusieurs enquêtes sont effectuées pour la détermination des paramètres de circulation à travers plusieurs villes du pays et en plusieurs types de sites (Boughedaoui, 1998; 1999).

2.1. Observation du parc roulant

Trois enquêtes sont conduites pour la détermination de l'âge de véhicule en circulation et du kilométrage parcouru en Algérie.

- La première enquête est menée durant l'année 1998 en cinq sites en milieu urbain et en zone rurale et sur route nationale à la ville de Blida. L'échantillon de véhicule observé est de 67600 véhicules tous genres confondus.

- La deuxième enquête s'est déroulée en 2001 en cinq villes algériennes Alger, Blida, Batna, El Oued, Tamanrasset, Oran. Les sites sont représentatifs de zone urbaine, rural et de route nationale et autoroutière seulement à Alger et Blida. L'échantillon observé au cours de cette campagne est de 168 321 véhicules.

- La troisième enquête s'est déroulée en 2005 et a touché les villes d'Alger et de Blida avec un échantillon observé de 134 763 véhicules. Les sites urbains d'Alger sont localisés à Ben Aknoun, Bach Djarah, Caroubier et les sites urbains de Blida sont au boulevard Boudiaf, Boulevard Larbi Tebessi, Ouled Yaich et Beni Mered. Les sites autoroutiers sont localisés à Ben Aknoun, Beni Mered et Boufarik.

Une enquête est effectuée en 2001 auprès des sociétés de transport routier afin de déterminer à partir des carnets de bord de chaque véhicule de transport de personnes ou de marchandises le kilométrage parcouru annuellement. Toutes les informations relatives à l'âge et les caractéristiques de chaque véhicule sont aussi relevées (puissance, carburant, capacité, etc.). Les sociétés touchées par cette enquête sont : TVC (la société de transport de voyageurs du centre ex SNTV), SNTR (société nationale de transport routier), Sonelgaz (Société nationale d'électricité et de gaz) et Naftal (Société nationale de distribution des carburants et produits). Le nombre de véhicule des échantillons de toutes les enquêtes est reporté sur le tableau 1.

Tableau 1 : Echantillons de véhicules

Années		1994	1998	2001	2003	2005
Echantillons (Nombre véhicules)	Observation d'âge du parc		67 600	168 321		134 763
	Kilométrage annuel des véhicules	723	356	996	935	

2.2. Données d'enquêtes

L'observation de l'âge des véhicules en circulation montre l'écart entre l'âge du parc administratif représenté par le parc de l'ONS (ONS, 2007; Gallez, 1994; 2000) et le parc en circulation réelle qualifié de parc roulant (figures 1-2). Par ailleurs, les résultats des trois enquêtes consécutives montrent aussi le rajeunissement du parc alors que le parc ONS ne reflète que faiblement ce rajeunissement (figure 2).

Ils révèlent d'autre part la vitesse de renouvellement du parc algérien. On constate ainsi que pour pratiquement deux périodes équivalentes, de quatre années consécutives entre 1998-2001 et entre 2001-2005, le taux de véhicules observés âgés de moins de cinq ans est passé de 6 à 9%, alors que le parc administratif ne déclare que 4% dans les deux cas. Par ailleurs, l'observation du parc roulant montre clairement la part des vieux véhicules d'âge supérieur à 20 ans qui en net déclin d'une période à une autre (selon l'année de l'enquête) pour chaque classe d'âge et catégorie de véhicule avec en moyenne 0,4%/an alors que le parc administratif ne peut en faire l'estimation et garde constant ces mêmes classes d'âge de véhicules.

Ceci met en évidence l'écart entre le parc roulant que nous mesurons, et le parc administratif de l'Office Nationale des Statistiques (ONS, 2007). Le parc administratif de l'ONS est un parc composé des véhicules enregistrés auprès du fichier des cartes grises de l'administration, dont les données sont accessibles. Il est censé représenter le parc statique qui est l'ensemble des véhicules existant physiquement et en état de rouler. Le parc roulant est constitué des véhicules qui roulent à un moment donné, dont on peut avoir une image caractéristique sur route. C'est le parc réellement responsable des émissions polluantes et de la consommation de carburant. Ce résultat est fort important eu égard à l'importance de cet indicateur pour la politique du pays vis-à-vis du renouvellement du parc, de la réglementation, du contrôle-maintenance des véhicules.

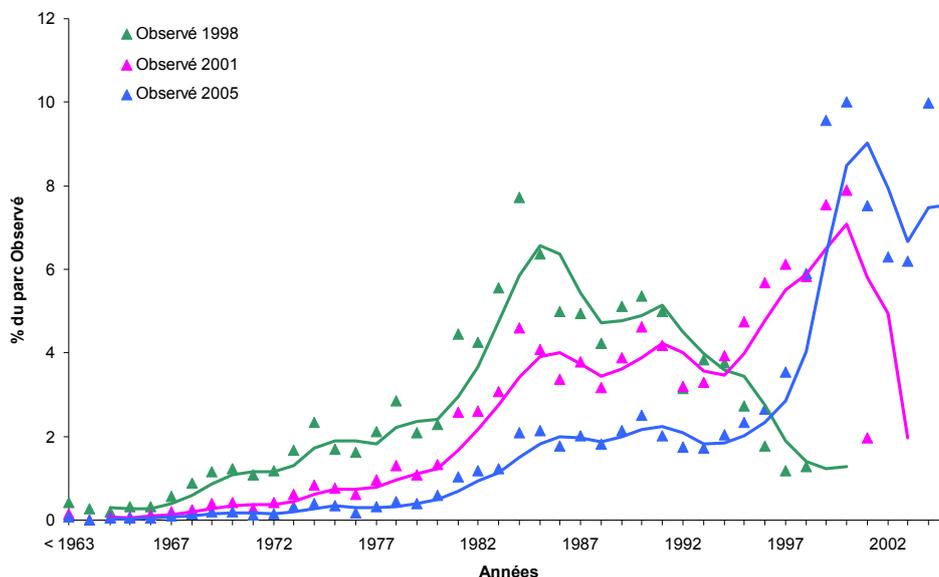


Figure 1: Distribution de l'âge du parc roulant

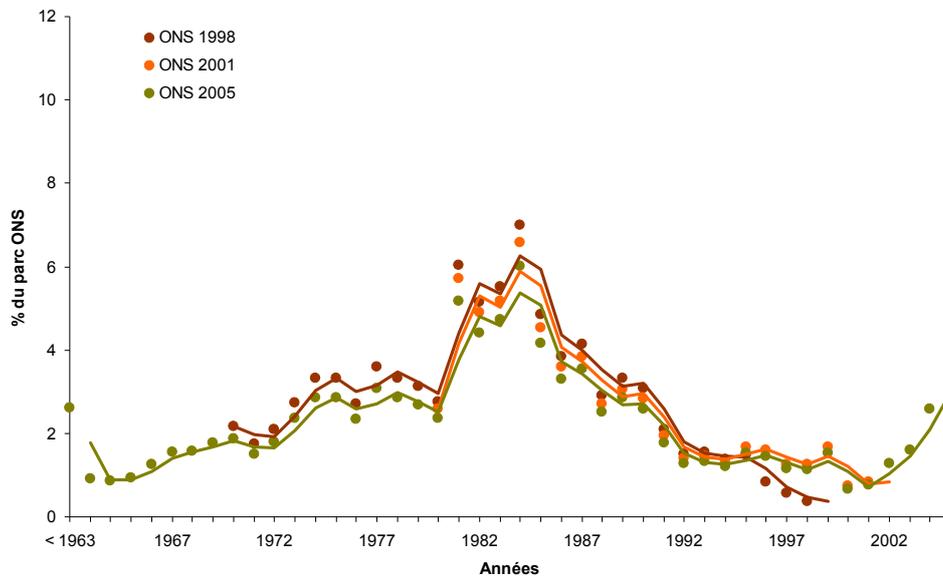


Figure 2: Distribution de l'âge du parc ONS

2.3. Kilométrage annuel

Le kilométrage annuel moyen des véhicules particuliers d'âge égal ou inférieur à cinq ans est de 24602 km. Il est estimé pour toutes les catégories de véhicules de 1963 à 2025. On montre ces estimations dans le cas des véhicules utilitaires et particuliers en figure 3. Ce kilométrage annuel moyen décroît avec l'âge, mais reste supérieur à celui des pays européens (Hickman, 1999 ; André, 1999 ; 2004, Adra , 2004).

Les véhicules utilitaires légers tous carburants confondus d'un an d'âge ont un kilométrage annuel moyen de 42 727 km. Ces effectuent des kilométrages annuels nettement plus grands que ceux des véhicules particuliers et l'effet de l'âge apparaît plus rapidement. Ceci peut s'expliquer par le fait que ce sont des véhicules très sollicités de par leurs usages mixtes commercial et personnel. Les véhicules lourds effectuent un kilométrage annuel de plus de 68500 km et ont une durée de vie plus supérieure à 13 ans en raison de l'entretien maintenance de ce genre de véhicules qui est assuré par les opérateurs privés. Le tableau 2 résume le kilométrage annuel moyen des véhicules observés dans les différentes enquêtes.

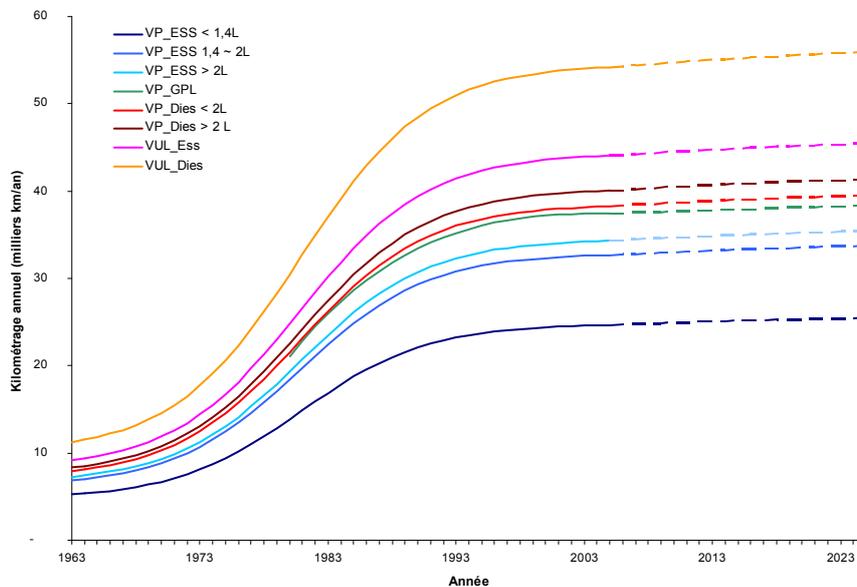


Figure 3 : Evolution des kilométrages annuels des VP et VUL

Tableau 2: Kilométrage annuel des véhicules en Algérie

Types de véhicules	Camions	Tracteurs routiers	Autobus	Autocar	VP	VUL
Kilométrage annuel (km)	63425	78654	73389	153000	24302	42727

L'évolution des parcs roulant sont estimés à l'horizon 2025 (figures 4-5) en admettant un scénario tendanciel. Le parc des véhicules particuliers est estimé à plus de 3.2 millions de véhicules et de 0.98 millions de véhicule utilitaires.

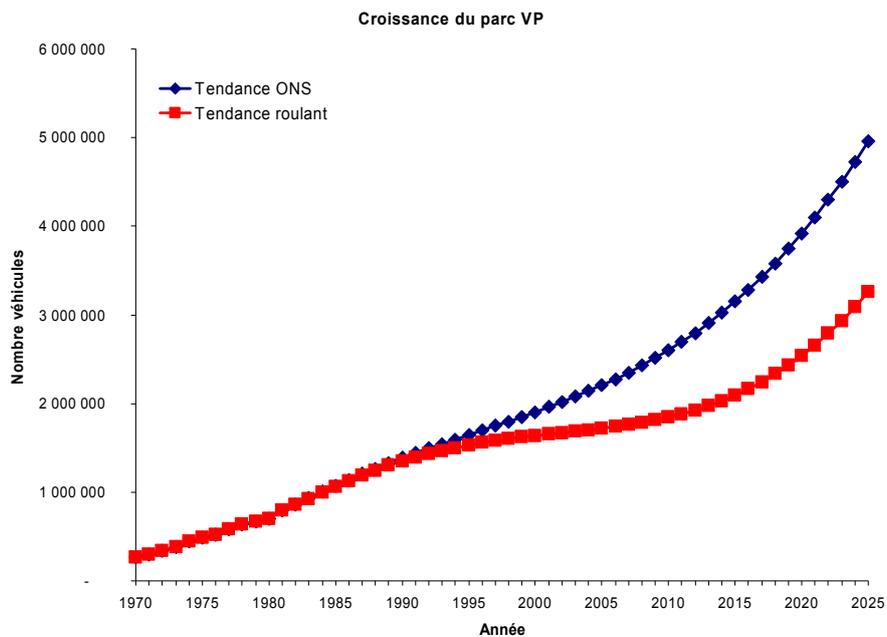


Figure 4 : Estimation du parc roulant de véhicules particuliers

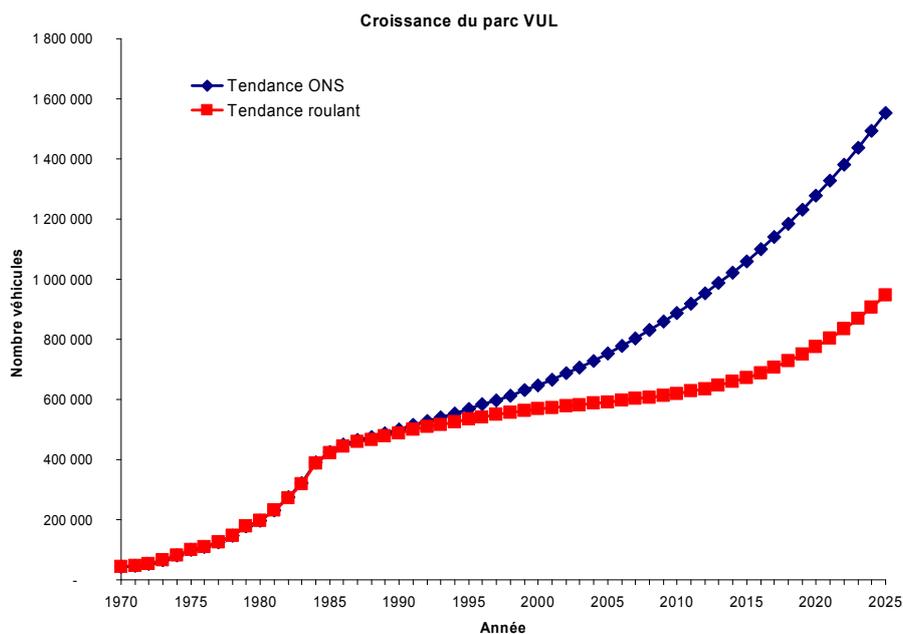


Figure 5 : Estimation du parc roulant de véhicules utilitaires

L'analyse des données d'enquête montre la tendance vers la diésélisation des véhicules en Algérie notamment pour les VUL (figure 6) où le nombre de VUL diesel mis sur le marché est nettement supérieur aux véhicules essence avec plus de 60% de VUL diesel en 2005. Cette même tendance est observée pour les véhicules particuliers qui connaissent la même tendance vers la diésélisation. On estime qu'à l'horizon 2016, on atteindra une égalité du nombre de véhicules particuliers mis sur le marché entre les deux types de carburant essence et diesel. Cette tendance à la diésélisation des véhicules particuliers constitue une barrière à l'émergence du gaz carburant notamment le GPL dont dispose le pays en quantité.

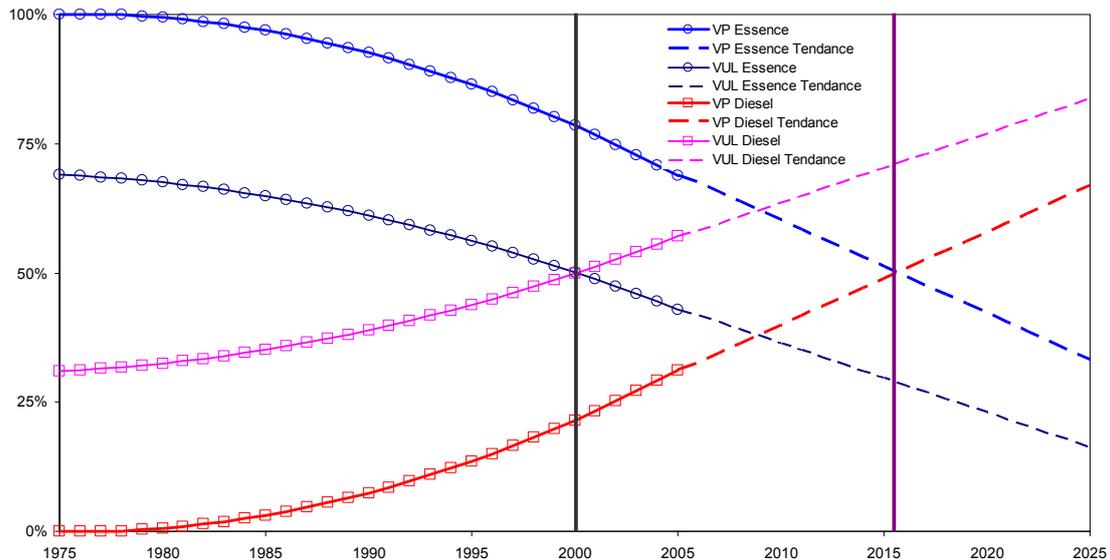


Figure 6 : Evolution de la diésélisation des VP et VUL

4. Inventaire d'émissions et discussion

Le calcul de l'inventaire est effectué par le modèle Copert III (Hickman, 1999 ; Driassa, 2006) avec les données d'entrée construite pour le parc roulant algérien sur la base des différentes enquêtes et observations de terrain (André, 2007). Les facteurs d'émission utilisés à partir de la base de données européenne Artemis (Joumard, 2006 ; Markewitz, 2006) qui regroupe les données de mesures européennes des émissions inclut la majorité des marques et modèles existant en Algérie. Certains facteurs d'émissions développés en Algérie sont aussi utilisés pour les véhicules utilitaires légers (Boughedaoui, 2006 ; 2008).

Les figures 7 -8 montrent l'évolution des émissions annuelles totales de chaque polluant de 1970 à 2005. Les émissions globales de CO₂ issues du trafic routier de 1980 à 2025 sont estimées à 65 et 90 Mt selon le scénario moyen et haut respectivement (figure 9). Les émissions des polluants CO, COV, NO_x ont augmenté depuis 1980 jusqu'à 1992 pour décroître de manière continue jusqu'à 2005. Les matières particulaires et le CO₂ ont augmenté durant la même période mais se sont stabilisés au cours des années 1990 pour croître de nouveau durant les années 2000.

Ces tendances s'expliquent probablement non seulement par la croissance du parc au cours des années 1980 mais aussi par la croissance économique et des activités socioéconomiques pendant cette période. Par contre, durant les années 1990, la situation sécuritaire qu'a connue le pays a provoqué un ralentissement des activités et réduit considérablement la mobilité avec une baisse du kilométrage annuel des VP qui constitue la part dominante du parc. Avec l'amélioration des conditions sécuritaires au début des années 2000 et la reprise des activités socioéconomiques, le transport a repris avec un fort taux de croissance du secteur privé à la suite de la libéralisation du secteur des transports routier. Le parc a connu au cours de cette reprise un renouvellement rapide, ce qui a permis l'introduction de nouveaux véhicules

de norme Euro 2 et Euro 3, voire même Euro 4. Selon les deux scénarios adoptés, les émissions de CO₂ continueront à croître en raison de la croissance du parc et du kilométrage. La motorisation galopante contribue à l'accroissement de ces émissions. Le monoxyde de carbone et des composés organiques volatils continuent à décroître jusqu'à 2020 avec le développement de la technologie et l'introduction de véhicule de normes élevées en Algérie. Les émissions augmenteront au delà de 2020 lorsque la motorisation dépassera 100 véhicules /1000 personnes. Les NO_x diminueront légèrement pour atteindre 120 kt et reprendre en 2015 avec le parachèvement de l'autoroute est-ouest ou des vitesses élevées seront pratiquées.

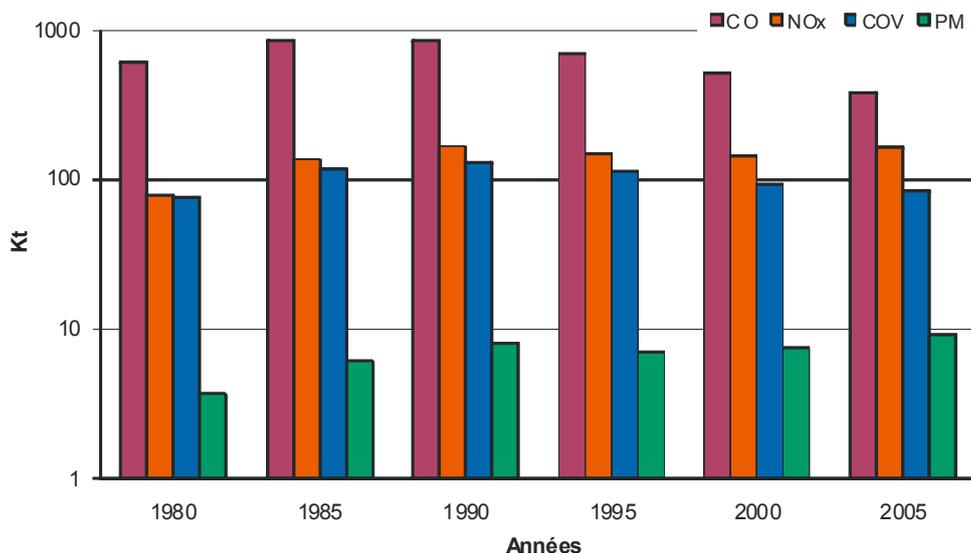


Figure 7: Inventaire global des émissions de CO, NOX, COV, PM

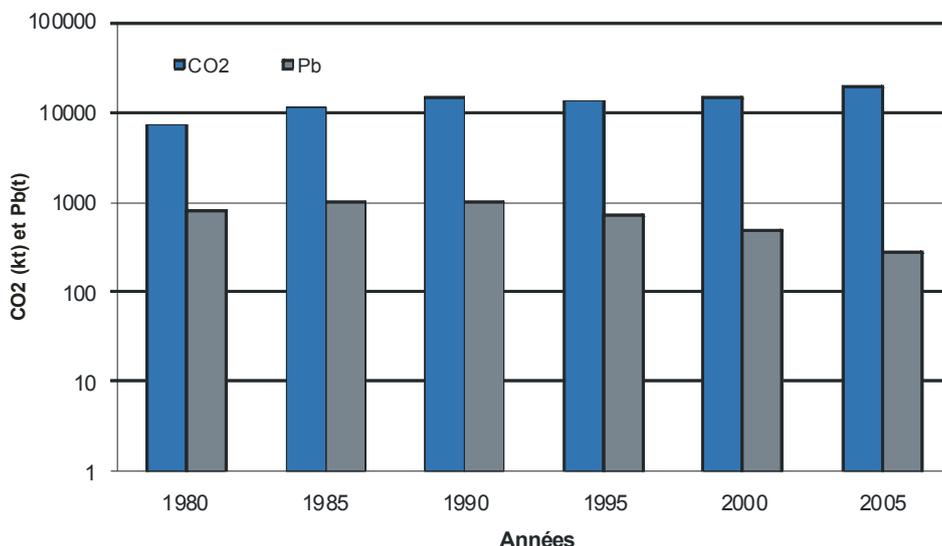


Figure 8: Inventaire global des émissions de CO2 et de Plomb

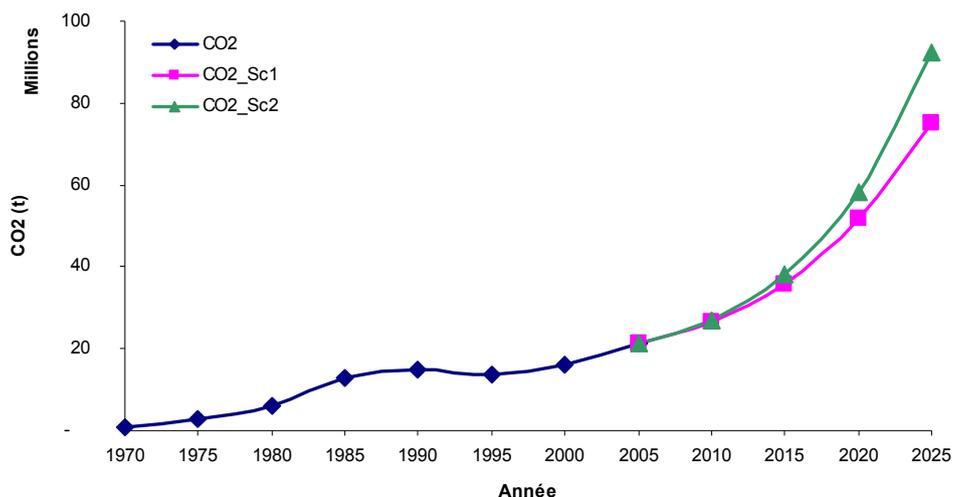


Figure 9: Evolution des émissions globales de CO2

La comparaison (tableau 3) des résultats d’inventaire obtenus avec l’inventaire réalisé dans le cadre de la convention cadre des nations sur les changements climatiques par la méthodologie de l’UNFCCC tier 1 (approche top-down) (UNFCCC, 2001) montre des écarts de 3% pour l’émission de CO2. Ceci est très acceptable pour cette année en appliquant la méthode tiers 1 en raison du niveau technologique des véhicules de cette période.

Le calcul d’émission basé uniquement sur le carburant s’avère entaché d’une incertitude pour les autres polluants où on observe un écart de -14% pour les NOx et un écart de +19 et 40% respectivement pour le CO et les COV, car les conditions d’usage des véhicules et leurs niveaux technologiques ne sont pas pris en considération. Ces écarts montrent l’importance de ce travail et de la méthodologie spécifique à chaque secteur tel que le transport avec l’influence de plusieurs paramètres sur les émissions. L’incertitude sur les inventaires d’émission peut être réduite en adoptant des outils spécifiques et en développant des bases de données plus réalistes.

Tableau 3: Comparaison d’inventaires du transport routier (1994)

Polluants	UNFCCC Tier 1 (1994)	COPERT III (1994)	Ecart (%) (UNFCCC/ COPERT III)
CO2	13911	13 450	+3
NO _x	133	154	-14
CO	884	742	+19
COV	167	119	+40

5. Conclusion

Les tendances des polluants tels que le dioxyde de carbone, les particules et les oxydes d’azotes sont en constante croissance tandis que le plomb, le monoxyde de carbone sont en nette décroissance ; les composés organiques volatils sont relativement constants.

Les niveaux d'émissions par type de carburant montrent de 1980 à 2005 une réduction des émissions dues à la combustion de l'essence : - 44% pour CO, -12 % pour les COV, - 66% pour Pb, et une croissance de 9% de NO_x de 59% pour CO₂. Le plomb décroît rapidement et est en voie de disparition depuis la réduction de la teneur de plomb dans l'essence et l'introduction de l'essence sans plomb sur le marché algérien (Boughedaoui, 2004). La pratique de vitesses plus élevées en raison du développement du réseau autoroutier est responsable de la croissance des émissions de NO_x.

La combustion du gasoil est responsable de la croissance des émissions de tous les polluants émis par les véhicules diesel, avec un taux moyen de croissance de 158% pour le CO, NO_x, COV et les particules depuis 1980. Cette croissance des émissions issues des véhicules diesel est principalement due à l'augmentation du nombre de véhicules diesel dans le parc algérien des VP et VUL et aussi à l'importance du kilométrage parcouru par les véhicules diesel. Le CO₂ croît de 288% en cette période, ce qui révèle la forte croissance de la diésélisation en Algérie.

Les variations de ces émissions dans le temps peuvent s'expliquer non seulement par l'évolution du trafic routier au cours de cette période mais aussi par la tendance du parc de véhicules et l'évolution de la technologie au cours de ces dernières années. Cette tendance à la baisse de certains polluants n'induit pas une amélioration systématique de la qualité de l'air dans les agglomérations, où seul un inventaire local d'émission permettrait de l'affirmer cette estimation.

L'inventaire global d'émission est un outil d'étude global au niveau du pays, utilisé soit pour les négociations internationales à l'image de la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques et le protocole de Kyoto, ou pour le développement de stratégies nationales vis-à-vis du transport routier, des infrastructures de transports, de la réglementation ou de la consommation de carburant. La demande en carburant sans cesse croissante du parc de véhicules constituera un enjeu majeur pour le pays par la construction de nouvelles raffineries pour répondre au besoin du marché local dans un pays éminemment gazier. Le développement du gaz carburant s'avérera un élément fondamental dans la politique énergétique de l'Algérie à l'avenir à l'horizon 2025.

Néanmoins, il est important de constater que les émissions de CO₂, qui est un gaz à effet de serre, est en pleine croissance parallèlement au niveau de la consommation de carburant sur le marché national. Ceci permet d'estimer la part d'émission issue du secteur des transports routiers dans l'inventaire globale d'émissions de polluants et de gaz à effet de serre.

Bibliographie

- Adra, N., André, M., 2004. Analysis of the annual mileage of road vehicles: statistics and trends. INRETS report, n°LTE 0421, Bron, France, 72 p.
- André, M., 2004. The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions Science of The Total Environment, Volumes 334-335, Pages 73-84
- André, M., Hammarström, U., Reynaud, I., 1999. Driving statistics for the assessment of air pollutant emissions from road transport. INRETS report, LTE 9906, Bron, France, 191 p.
- André, M., Keller, M., Johansson, H., Boughedaoui, M., 2007. Artemis: De nouveaux outils de calcul des émissions de polluants de transports routiers, 12^e Colloque international, Évaluation environnementale et transports Concepts, outils et méthodes, du 18 au 22 juin, Genève, Suisse.
- Boughedaoui M., R. Kerbach & R. Joumard (2006) : Mesure des facteurs d'émissions de polluants des véhicules utilitaires légers. Congrès int. sur l'Environnement, Ghardaïa, Algérie, 28-29 déc. 2006.
- Boughedaoui, M., Chikhi, S., Kerbach, R., André, M., Joumard, R., 1998. Mise au point des paramètres nécessaires à l'inventaire d'émissions dans le cas de l'Algérie, Climat et Pollution Atmosphérique par les Transports, 3^{ème} Réunion du Comité Consultatif Technique, Projet RAB/94/G31, PNUD/FEM, Alger, 29 - 30 juin 1998.

- Boughedaoui, M., Chikhi, S., Kerbachi, R., André, M., Joumard, R., 1999. Car fleet characterization and kinematics used in Algeria, 8th Intern. Symp. Transport and Air Pollution, Graz, Austria, 31 May - 2 June, 1999, poster proceedings, section IX, pp. 49-56.
- Boughedaoui, M., Kerbachi, R., Joumard, R., 2008. On-board emission measurement of high loaded light duty vehicles in Algeria, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58, 1.
- Boughedaoui, M., Kerbachi, R., Kessali, D., Joumard, R., 2004. Mesure de la pollution plombifère dans l'air ambiant d'Alger. *Pollution Atmosphérique*, n°181, 105-111.
- Driassa N., M. Boughedaoui, S. Chikhi, R. Kerbachi & R. Joumard (2006) : Développement d'un inventaire des émissions polluantes du parc routier algérien. Poster, congrès int. sur l'Environnement, Ghardaïa, Algérie, 28-29 déc. 2006.
- Gallez, C., 2000. Modèles de projection à long terme de la structure du parc et prospective transport-environnement. Arcueil : INRETS, 88 p.
- Gallez, C., Couturier, N., 1994. Renouvellement du parc automobile et du marché de l'automobile. Thèse sciences économiques. Paris : Université de Paris I – Panthéon – Sorbonne, 353 p.
- Hickman, A.J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z., Sorenson, S., 1999. MEET – Methodology for calculating transport Emissions and energy Consumption, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-828-6785-4, 362 p.
- Joumard, R., André, M., Laurikko, J., Le Anh, T., Geivanidis, S., Samaras, Z., Oláh, Z., Devaux, P., André, J.M., Cornelis, E., Rouveïrolles, P., Lacour, S., Prati, M.V., Vermeulen, R., Zallinger, M., 2006. Accuracy of exhaust emissions measurements on vehicle bench - Artemis deliverable 2. Inrets report, n°LTE 0522, Bron, France, 140 p.
- Markewitz, K., Joumard, R., 2006. Atmospheric pollutant emission factors of light duty vehicles within the Artemis model. 2nd conf. Environment & Transport, incl. 15th conf. Transport and Air Pollution, 12-14 June 2006, Reims, France, poster. Proceedings, actes Inrets, n°107, vol. 2, Arcueil, France, pp. 84-89.
- ONS, Rapport du parc automobile, Alger, 2007.
- UNFCCC, 2001. National communication of Algeria, Non-Annex I national communications. (http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php)

Environmental Impact Assessment (EIA) Guidelines and Selecting the Best Method of EIA for Land Transportation in Iran

Fatemeh Zahed *, abdolreza Rezaee Arjroody *

*transportation research institute- no. 19- noor dead end- Africa blvd.- fax
+98(21)88889983-6 - email: zahed@rahiran.ir

Abstract

For the assessment of possible impacts of the projects, numerous methods have been devised, which many of them require baseline data and computerized calculations. Unfortunately, In Iran lack of using new mathematical methods has resulted in heavy reliance on old and outdated methodologies that are scientifically unreliable. Moreover, even the traditional methodologies are not used properly in assessment reports and thus, the views of the experts conducting the assessment overshadow the other elements of the EIA. Therefore, lack of adequate knowledge on project activities or the environment influenced could result in often wrong conclusions.

The methodology of analysis in environmental impact assessment is a scientific tool for the identification, collection and organization of data in regard to the environmental impacts of the development projects. There are various methods for the environmental impact assessment including:

- *Check lists*
- *Matrices*
- *Networks*
- *Overlay maps*
- *Environmental indicators*
- *Cost-Benefit Analysis*
- *Modeling or assessment and compatible environmental management*

For the selection of the alternative, first, the advantages and applicability of each method is to be identified through questionnaires. For the comparison of the best assessment methods, each method has been scored according to some specifications such as risk, data requirements, expenses, etc.

According to the results of the EIA studies and reports in Iran as well as the above-mentioned scoring, the assessment methods for road transportation projects in Iran are prioritized in the following manner:

- 1- *Matrix*
- 2- *Check List*

3- *Systematic analysis*

4- *Overlay*

Key words: *Environmental Impact Assessment, Land Transportation, methods, Guidelines*

1. Introduction

The transportation industry is a strong indicator of the economic status and level of industrial development in any given country. Moreover, it is considered as one of the important factors in development of all sectors including cultural and social arenas. Many economic strategists believe that those developing countries who fail to put enough emphasis on transportation industry at the beginning of the 21st century would significantly weaken their chances to attain substantial economic development in near future. Thus in view of the geopolitical characteristics of Iran as one of the main global transportation routes, the vanguard status of the transportation sector in all out development of the country can not be ignored.

A high percentage of goods and passengers are relocated through the main roads. Also, the intricate network of roads plays an important role in the defensive structure of the country and enhances vital services like firefighting and fuel supply. Currently, the quantitative and qualitative improvement of national roads are directly linked with the economic, political, social and cultural development and the construction of expressways has become one of the top priorities of the Ministry of Road & Transportation. A quick glance at the statistical data, before and after the revolution, reveals that the total length of the national expressways has increased from 300 to 900 Kilometers.

Although railway transportation has not found its proper place next to the air transportation, it is still being considered as one of the prominent means of transporting cargo and passengers within and between urban metropolitans. The history of railway transportation dates back to 150 years ago and currently is facing various environmental challenges. While the need for more speed has altered the technical specifications of railway transportation, its basic characteristics are still remained the same [Carpenter, 1994].

In Iran, its geo-political importance as a vital transporting route between Europe and Asia, the significant pollution of its large cities and the role of transportation in the development strategies of the country have highlighted the necessity to expand railway and road connections throughout Iran. Although the benefits of land transportation are undeniable, it imposes adverse effects on the quality of life and the surrounding environment, which have to be addressed.

2. Identification of Railway Transportation Plans

2.1. Railway Transportation Plans in Construction Phase

The main factors involved in the study of the environmental effects of railway transportation projects in the construction phase are:

- 1- Length of the railways;
- 2- Tonnage of new railways to be constructed;
- 3- Type of construction (ground level, elevated, underground);
- 4- Type of land to be used for railway construction (wetland, forest and etc...);
- 5- Number of heavy equipment and machinery, their capacity and distance they have to be relocated;
- 6- Consumed fuel by the heavy construction equipment and machineries;
- 7- The fuel efficiency of heavy machineries;
- 8- The time intervals and duration of heavy machinery usage;
- 9- The duration of the construction phase and the involved processes;

The above-mentioned factors along with the amount of soil excavation; specifications for construction of drainage system, tunnels and bridges; ground-leveling activities and removal of vegetation coverage; usage of chemical substances and various industrial lubricants are vital in estimation of environmental impacts of railway construction in terms of land use and discharge of pollutants in the area. Moreover, the number and distribution of construction sites, number of personnel, means of discharging the solid waste and water waste, repairs and secondary activities are also necessary to accurately assess the amount of waste produced and the potential future water and soil contaminations.

2.2. Railway Transportation Plans in Operational Phase

The activities of the railway industry in the operational phase include the transportation of passengers and cargo in addition to supplementary processes like maintenance and logistical support. The main activities in this phase could be categorized as following:

- Maintenance of wagons;
- Maintenance of locomotives;
- Performed activities at the stations, refueling and maintenance of railways;
- Transportation of passengers and goods;

Therefore, the main factors to be considered in the operational phase are:

- 1- Removing grease from the equipment and parts (type and amount of consumed materials and the subsequent waste);
- 2- Clean up of wagons and parts (type and amount of consumed materials and the subsequent waste);
- 3- Removal of rust from the metallic surfaces (the consumed acids and bases and the subsequent waste);
- 4- Preparation of paint (type and amount of consumed materials and the subsequent waste);
- 5- Painting (type and amount of consumed materials and the subsequent waste);
- 6- Removal of paints (type and amount of consumed materials and the subsequent waste);
- 7- Repair of brake system in locomotive and wagons (type and number of replaced brake pads);
- 8- Clean up of locomotives (Type and amount of consumed materials and water and the subsequent waste);
- 9- Repair of locomotive hydraulic system (type and amount of replaced oils and hydraulic fluids);
- 10- Machining of metals (Type and amount of waste metallic parts);
- 11- Replacement of oil filter and disposal of used oil
- 12- Painting of locomotive (type and amount of consumed materials and the subsequent waste, particulates and fumes);
- 13- Replacement and disposal of old batteries (type, number and the means of disposing used batteries);
- 14- Refueling (the emitted hydrocarbons into the atmosphere, leakage of fuel and the possible future accidents);
- 15- Transportation of dangerous chemical materials (type and amount of materials, the possible accidents, leakage from the connections, the possibility of fire and explosion);
- 16- Consumption of chemical substances, oils and lubricants, and pesticides throughout the railway system;
- 17- Dispersion and discharge of oils and cooling fluids;

3. Identification of the Adverse Effects of Road Transportation Projects

For the implementation of environmental impact assessment of road transportation projects, the identification of their impacts for all types of roads including expressways, main roads and secondary roads is essential.

The environmental impacts of projects could be divided into three categories:

- 1 Direct
- 2 Indirect
- 3 Cumulative

These three categories could also be divided in terms of their distinctive characteristics.

- 1 Positive or negative
- 2 Random or predictable
- 3 Local or regional
- 4 Permanent or temporary
- 5 Long term or short term

Table #1 provides a list of direct and indirect adverse effects of road transportation projects on the environment and means to remedy them.

4. Prevalent EIA Methods

The main environmental assessment methods used by experts include:

- 1 Ad hoc method
- 2 Checklists
- 3 Matrices
- 4 Networks
- 5 Overlays

However, there have been new methodologies introduced, which utilize computers and more scientific and intricate processes. They are:

- 1 Simulation Modeling
- 2 Systems Diagrams
- 3 Cost-benefit Analysis
- 4 Environmental Indices
- 5 Electre Method

- 6 Modeling Workshop
- 7 Environmental Evaluation
- 8 Adaptive Environmental Assessment & Management

According to the latest studies conducted on environmental impact assessment and the reports prepared for the development projects in Iran, the following methods are mostly used by the experts:

- Checklist
- Overlays
- Systemic Analysis
- Matrices

Basically for the selection of the best assessment method, first the capabilities of the methods are to be determined by questionnaires. A sample of such questionnaires is provided in Table #2. Also, the evaluation of the methods is done through utilization of comparison lists like the one shown in Table #3.

The four assessment methods provided in the paper, based on the current status of the country in regard to the available and required data as well as other parameters are scored in Table #4. According to the aforesaid scoring, the matrix method has the highest score.

According to the results of the EIA studies and reports in Iran as well as the above-mentioned tables, the assessment methods for road transportation projects are prioritized in the following manner:

- 1 Matrix
- 2 Check List
- 3 Systematic analysis
- 4 Overlay

5. Environmental Mitigation Methods

Taking into account the various environmental impacts of the construction and operation phases of projects, the following mitigation methods are to be provided:

- Mitigation of adverse impacts on water resources (surface and underground)
- Mitigation of adverse impacts on soil (quantitative and qualitative)
- Mitigation of adverse impacts on air
- Mitigation of adverse impacts on surrounding noise level
- Mitigation of adverse impacts due to wastes

- Mitigation of adverse impacts on economic, social and cultural environments
- Mitigation of adverse impacts on biological environment (fauna, flora, ecosystems, habitats)
- Mitigation of adverse impacts on historical and cultural sites
- Mitigation of adverse impacts due to accidents

The mitigation methods could include engineering, technological, managerial, operational and educational activities or a combination of them. [Tsunokava & Hoban, 1997].

6. EIA Guidelines for Road & railway Transportation Projects

Based on the extensive research conducted, a set of EIA guidelines for road & railway transportation projects is prepared, which has the following unique specifications in comparison to the other guidelines in the country:

- Determining evaluation criteria for the assessment methods
- Prioritizing the assessment methods for road transportation projects
- Preparing a flow chart for monitoring activities
- Preparing monitoring and implementation forms
- Determining the public participation procedure
- Dispatching appropriate guidelines
- Incorporating a parameter for lack of adequate data and information
- Taking into account the remaining project activities in the guidelines
- Incorporating the future status of the environment in the guidelines
- Taking into account the sustainable development considerations in the guidelines
- Incorporating cumulative environmental impacts of the activities in the guidelines
- Considering the emergency situations and required responses in the guidelines

In light of the unique nature of road transportation projects and the issues to be considered in the environmental assessment reports, the following procedures are recommended:

First, based on the road type, it has to be determined whether a preliminary or a comprehensive report is required (Table #5). Then, according to Table #6, the scope of environmental studies is to be specified.

7. conclusion

The rapid development of modern civilization and its growing need for expansion of transportation routes are having a profound impact on the environment. As a result, there is an urgent need for environmental assessment of all development plans, especially the transportation projects.

Considering the issues discussed earlier in the various sections of this report on one hand and the nature of the railway projects on the other hand, the following steps are recommended in environmental assessment reports. Meanwhile, a sample matrix for environmental impact assessment is provided at the end of this section. Therefore, the EIA process and preparation of its report will include the following steps:

- 1 Technical abstract
- 2 Introduction
- 3 Description of the recommended project
- 4 Description of the affected environment
- 5 The environmental impacts
- 6 Protection of the environment
- 7 The project consequences and criteria for selection of best alternative
- 8 Public participation
- 9 The environmental protection plan
- 10 References
- 11 Personnel
- 12 People receiving a copy of the report

References

- 1- Carpenter, T. G., 1994, "The Environmental Impacts of Railways", Wiley
- 2- Monavari, S. M., 2001, "Environmental Impact Assessment Guidelines for Railroads"
- 3- U. S. EPA, 1991, "Indicators of Environmental Impacts of Transportation", EPA-230-R-99-007
- 4- MORT, 2003, Ministry of Road and Transportation, Deputy of Education Research and Technology, "Effective Parameters in Technical, Economical, Social and Environmental Assessment of Road and Railway Projects"

Table #1: The Adverse Impacts of Road Transportation Projects & Mitigation Measures

Potential Adverse Impacts	Mitigation Measures
Direct	
Increase in sedimentation in the rivers and surface waters due to the increase in level of erosion at the construction sites and disposal of wastes, excess materials, excavation and dumping	Plantation of flora in the regions susceptible to erosion for the protection of the sensitive surfaces in the immediate future
Water and soil pollution via oil, fuel and paint by asphalt units and machineries	Collection and recycling of oils; Prevent the reoccurrence of such spillages and accidents through optimization of activities
Air pollution due to the asphalt production units	Installation and operation of air pollution control devices
Noise pollution and dispersion of particulate matters and dust locally	Usage of noise reduction devices in water and light-oil spraying machinery in dusty areas
Air pollution in roads with heavy traffic, especially in populated areas; in cases were the expressways or roads pass through heavily populated areas	Utilization of physical barriers and noise absorbent walls on the road sides; Compilation of air pollution standards for automobiles and usage of cleaner fuels; Development of mass transit services and traffic management
Destruction and alteration of landscapes due to excavation, dumping and other road construction activities	Usage of architectural landscape plans; re-plantation of flora in destructed or altered areas
Land slide and other earth movements in the excavated areas	Construction of a suitable drainage system; stabilization of slopes with the erection of concrete walls and etc...
Solid wastes at the road side	Establishment of waste disposal facilities; Compilation of regulations against dumping of wastes; Public awareness campaigns

Causing dangerous driving conditions, when the construction activities interferes with the driving routes and roads	Installation of adequate warning signs and other safety measures during the design phase
Detouring the routes and patterns of surface and underground drainage systems	Installation and creation of proper drainage facilities
Destruction of vegetation coverage and wildlife at the project site and its vicinity	Proper fencing and selection of appropriate routes during the design phase in order to refrain from crossing the ecologically valuable regions
Destruction or damage of wildlife habitats, biological resources and ecosystems, which need protection	National planning for selection of routes not interfering with the sensitive, fragile and unique ecosystems

Table #1: The Adverse Impacts of Road Transportation Projects & Mitigation Measures (Cont.)

Potential Adverse Impacts	Mitigation Measures
Disruption of migration routes and movement of wildlife and domesticated animals	Selection of construction routes in such a manner that they do not cross the migration or natural movement routes of animals; Construction of adequate and proper under-passes in the region
Inappropriate disposal of sewage and waste at the work camps established during the construction phase	Preparation of decentralized sewage and waste disposal systems
The possibility of transmitting contagious diseases from the workers to the local population and vice versa	Conducting regular check ups of the workers and their timely treatment
Causing appropriate habitat and conditions for the growth of insects and transmitters of diseases under sunlight around stagnant water pots	Prevention of creating suitable environments for disease transmitting insects

Illegal hunting by the workers	Stating prohibition of hunting in the working contracts
Resettlement of local population near the road construction sites, especially in the areas, which are at the vicinity of cities or are rich in agricultural activities	Strict and objective planning for the resettlement of the local population after careful consultations and public participation in the decision-making
Disrupting the regular routes of local people commuting between home and farm	Design and construction of adequate and appropriate under-passes and over-passes
Reduction of non-motorized traffic in expressways	Implementation of slow-traffic lanes and allocation of adequate space for non-motorized traffic on the road sides
Traffic accidents, which could result in leakage of dangerous substances, deaths or injuries	Design and implementation of safety and emergency response plans in case of leakage of such substances
Unplanned development of areas at the vicinity of the roads including unwanted industrial and residential developments	Encouraging the participation of pertinent planning and land-use institutions in all phases of the project as well as the environmental assessment process in order to control and monitor developments
Increase in motorized transportations and greater need for fuel consumption	Encouraging greater usage of non-motorized vehicles in the project
Illegal cutting of trees and plants	Increase the protective measures and increase fines and penalties
Illegal clear cutting of flora	Increase the protective measures and increase fines and penalties

Table #2: Criteria for the Selection of Best Assessment Method

#	Criteria	Questions
1	Importance	Is the importance of the method considered at local, regional or national level?
2	Clarity of Criteria	Does the method require specific criteria and assumptions for the identification of the impacts?
3	Uncertainty	Has the method considered certain degree of uncertainty?
4	Risk	Does the method emphasize on impacts with low possibility of occurrence, but with high intensity?
5	Comparison of Alternatives	Does the method provide a methodology for the comparison of alternatives?
6	Coherence	Does the method interlink the data and analysis coherently?
7	Public Participation	Does the method provide means for public participation?
8	Communities Affected	Has the method considered the inter-linkages between various communities?
9	Description of Status	Does the method describe the current status?
10	Summary	Does the method provide a summary?
11	Key Parameters	Does the method signify the key parameters and elements?
12	DOE's Concerns	Does it emphasize on the concerns of the Department of the Environment?
13	Comprehensiveness	Does the method identify the complete scope of impacts?
14	Exclusiveness	Does it identify the specific environmental parameters?
15	Generality	Does it provide means to identify specific impacts of the project?
16	Incremental Activities	Does it separate the impacts of construction and implementation phases?
17	Data Resources	Does it need a great deal of data & information?
18	Clear Indicators	Does it provide specific indicators of estimating the impacts?
19	Range of Impact	Does it consider the range of impact?

Table #3: Assessment of a Number of EIA Methods

#	Specifications	Check List	Matrix	Overlay	Systematic Analysis
1	Comprehensiveness	2	2	1	3
2	Inter-linkage	2	3	2	2
3	Flexibility	3	2	1	1
4	Risk	2	3	1	2
5	Coherence	3	2	2	2
6	Specialized	2	3	2	2
7	Multi-applicability	2	3	2	1
8	Uncertainty	1	2	2	2
9	Scope of Activities	2	2	3	1
10	Mapping Requirements	2	3	1	2
11	Data Requirements	1	3	1	2
12	Executive Summary	3	3	2	2
13	Comparison of Alternatives	2	3	1	2
14	Time Requirements	2	3	1	1
15	Expert Requirements	2	2	2	2
16	Expenses	2	3	2	2
17	Public Participation	3	2	1	2
18	Compliance with DOE Regulations	2	3	1	2
Total		38	47	28	33
<i>Priority</i>		2 nd	1 st	4 th	3 rd

Table #4: Weights & Parameters for Comparison of Assessment Methods

Weight	Parameter
1	Incomplete, Requires a lot of resources
2	Relatively complete, Requires some resources
3	Complete, Requires limited resources

Table #5: Road Types & EIA Reporting Requirements

Road Type	Summary Description	Environmental Impacts	Type of Environmental Assessment Report	Notes
1 st Degree	Main roads, roads with heavy traffic, roads connecting major cities	Many	Comprehensive Report	None
2 nd Degree	Roads connecting large villages to cities	Average*	Preliminary Report*	In case the DOE experts are not satisfied, comprehensive report is required
3 rd degree	Roads with light traffic mainly connecting rural areas	Few*	Preliminary Report*	In case the DOE experts are not satisfied, comprehensive report is required

* On the condition that the road does not over pass the ecologically sensitive areas

Table #6: The Affected Area in Road Transportation Projects

#	Affected Environment	Region	Recommended Area (1)
1	Sound	Passing through a region with vegetation coverage	800 meters
2	Sound	Passing through a region without vegetation coverage on flat surfaces	4,000 meters
3	Sound	Passing through a region without vegetation coverage, but with natural obstacles (mountain)	1,500 meters
4	Sound	Passing through residential areas	4,000 meters
5	Sound	Accidents like explosion	4,000 meters
6	Air	Passing through regions with vegetation coverage	2,000 meters
7	Air	Passing through residential areas and free zones	5,000 meters
8	Soil	Passing through regions with vegetation coverage	1,500 meters
9	Soil	Passing through free zones	3,000 meters
10	Protected Areas		The entire region*
11	Regions with endangered flora		The entire region**
12	Regions with endangered fauna		The entire region**
13	Regions with historical sites		The entire region**
14	Regions with passages for wildlife		The entire region**
15	Regions with wetlands		The entire region**
16	Regions with Natural Heritage sites		The entire region**
17	National Parks		The entire region*

(1) The recommended area in the direction of the dominant wind, for the other directions, the are is to be reduced by 10%

* The entire region is determined by the Department of the Environment

** The entire region is determined through field inspections

Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. 2009. Actes, ENP ed., Alger, p. 376-387.

Effet d'un projet de rénovation urbaine sur l'empreinte écologique des déplacements quotidiens : le cas des quartiers défavorisés de la banlieue lyonnaise

Louafi Bouzouina *, Jean-Pierre Nicolas *

*Laboratoire d'Economie des Transports

ENTPE-Université Lumière Lyon 2

Rue Maurice Audin, 69518 Vaulx-en-Velin Cedex- France

Louafi.bouzouina@entpe.fr, jean-pierre.nicolas@entpe.fr

Abstract

The ecological footprint related to daily mobility and its evolution due to the rehabilitation of the disadvantaged neighborhood in the Lyons suburb

This communication is about the environmental impact, measured by the ecological footprint of rehabilitation of two segregated neighborhoods in the northern suburbs of Lyon (Vaulx-in-Velin). Its objective is to test the impact of the residential relocations related to a social mix policy on the ecological footprint of the daily mobility of the inhabitants at different scales.

The ecological footprint increases with the income of households and the distance to the center (linked to the growth of the vehicle ownership and the distances covered daily) on the scale of the agglomeration. On a local scale, the search for a better social mixity leads to an increase in the ecological footprint: it would pass from 0,24 hag to 0,34 ha/year/cap. Lastly, according to the orientation of the residential migrations, the ecological footprint of the concerned populations can drop (case of a centring of the populations, with a passage from 0,38 to 0,30 hag/pers/an.), as it can increase (case of a urban sprawl, with an increase of 0,24 to 0,38 hag).

Introduction

Depuis une vingtaine d'années, la lutte contre la ségrégation spatiale est devenue un objectif de la politique de la ville. Pour remédier à la concentration des logements abritant les populations défavorisées des grands ensembles, principal facteur de la ségrégation, plusieurs mesures ont été prises (loi SRU 2000, loi Borloo 2003). Dans ce cadre, un réaménagement profond des quartiers du Mas du Taureau et du Pré de l'Herpe à Vaulx-en-Velin dans la banlieue lyonnaise est programmé, d'une part en refondant le bâti (destruction des immeubles actuels pour les remplacer par un habitat moins haut, de type semi collectif) et d'autre part en favorisant une plus grande mixité sociale (politique d'accès à la propriété, redistribution d'une part des logements sociaux de ces quartiers vers le reste du territoire lyonnais). Plus de 1 800 logements devraient ainsi être détruits, et environ 1 600 reconstruits pour accueillir une population économiquement plus favorisée.

Dans le cadre du développement durable des territoires, peut-on conjuguer l'objectif de mixité sociale avec des objectifs environnementaux (Bouzouina, 2008), tels qu'une réduction des émissions de gaz à effet de serre ou de l'empreinte écologique – indicateur souvent utilisé par les collectivités locales ? Cet article présente la méthode que nous proposons et les résultats obtenus pour mesurer l'évolution de l'empreinte écologique liée à la mobilité des ménages concernés par le projet de réaménagement des deux quartiers vaudais.

Pour ce faire, trois types de mobilité ont été distingués, en fonction de la manière dont le projet pouvait les affecter, et trois scénarios de mobilité résidentiels ont été imaginés (§1) car, comme nous le verrons, suivant la provenance des nouveaux résidents et la destination des anciens, les résultats peuvent varier sensiblement. Quelques précisions méthodologiques seront également apportées sur la mesure de la mixité, de la mobilité et de l'empreinte écologique (§2), avant de présenter les résultats obtenus (§3).

1. Des mobilités résidentielles aux mobilités quotidiennes : que mesure-t-on ?

De précédents travaux nous ont permis de montrer que l'empreinte écologique de la mobilité est fortement liée aux distances parcourues en voiture particulière. Elle dépend donc d'une part du niveau de vie et de l'accès à l'automobile et d'autre part de la localisation de la population considérée (Nicolas et al., 2006). L'impact d'un projet de renouvellement urbain encourageant plus de mixité sociale ne se joue dès lors pas simplement sur les cheminements de proximité, à l'intérieur du quartier, mais également sur les modifications de mode de vie et de comportements liées aux échanges de population. Il importe dès lors d'une part de distinguer différents types de mobilité pour mieux se rendre compte de où se jouent les évolutions potentielles de l'empreinte écologique et d'autre part de

s'interroger sur les mouvements de population impliqués par le projet : qui vient, qui part, en venant d'où, pour aller où ?

1.1. Trois échelles de territoire pour les déplacements

Trois niveaux de territoire peuvent être distingués pour mieux mettre en évidence l'impact du projet sur l'empreinte mobilité : outre le niveau local du quartier, une séparation peut être faite entre le territoire des mobilités quotidiennes et l'espace de la mobilité à longue distance.

Le niveau du quartier, où se réalisent les **mobilités de proximité**, correspond à l'échelle du projet proprement dite. Son impact sur l'environnement et le cadre de vie peut être profond. Les mobilités de proximité pourront également être fortement modifiées, avec des cheminements différents, et éventuellement les modes doux comme la marche à pied et le vélo favorisés. Par contre, son poids dans l'empreinte écologique de la mobilité apparaît très limité. Par exemple, en 1995 sur l'agglomération lyonnaise, les déplacements de moins de 1 km représentaient 34% des déplacements mais seulement 4% des distances parcourues par l'ensemble de la population. Pour rendre compte de l'intérêt du projet sur le cadre de vie à ce niveau local, d'autres indicateurs mériteraient d'être utilisés. On peut penser par exemple à des indicateurs liés au partage modal entre les déplacements de quartier, aux expositions des résidents aux nuisances sonores du trafic ou aux émissions de polluants atmosphériques locaux que l'empreinte écologique, trop tournée vers les impacts globaux, ne prend pas en compte.

L'espace de la **mobilité quotidienne**, correspond au territoire sur lequel se réalise l'essentiel des déplacements en cours de semaine, pour aller travailler ou étudier, faire ses achats, ses démarches ou ses loisirs. Nous l'assimilerons à l'aire de l'agglomération lyonnaise. C'est à ce niveau que vont s'opérer les échanges résidentiels entre les populations venant s'installer et celles quittant le quartier. Selon les niveaux de vie et les changements de localisation impliqués, on pourra avoir un solde positif ou négatif des distances parcourues en automobile et donc des variations de l'empreinte écologique de la mobilité.

Un niveau plus large, enfin, renvoie aux **mobilités à longue distance**. L'enjeu de cette échelle est considérable puisqu'elle représentait déjà 50% des émissions de CO₂ en 1994 (Raux et al., 2005) et que c'est à ce niveau que les distances parcourues ont le plus augmenté depuis. En revanche, il reste beaucoup plus lié au niveau de revenu qu'à la localisation résidentielle (Orfeuill et al., 2002).

1.2. Prendre en compte les conséquences des mouvements résidentiels impliqués par le projet

C'est donc la mobilité quotidienne à l'échelle de l'agglomération qui apparaît la plus susceptible de jouer sur l'empreinte écologique de la mobilité. Il importe dès lors de prendre en compte la provenance et le niveau de vie des nouveaux

résidents ainsi que la destination des populations modestes qui quitteront les deux quartiers concernés par le projet. Les scénarios de mobilité résidentielle reposent sur deux familles d'hypothèses de nature différente, la première portant sur la notion de mixité sociale, la seconde sur la dimension spatiale de ces mouvements résidentiels.

Dans le cadre d'un scénario idéal, nous avons supposé que le projet permettra d'atteindre une mixité sociale totale, avec une répartition des quintiles de revenus équivalente à celle de la moyenne de l'aire urbaine. Dans les faits, l'ambition du projet reste plus limitée, mais nous avons choisi de pousser le scénario de mixité sociale jusqu'au bout pour établir les fourchettes limites du projet, sachant qu'ainsi les tendances sont données et les ordres de grandeur des impacts que l'on peut attendre sur l'empreinte écologique de la mobilité sont fixés. Soulignons que cette hypothèse de mixité sociale totale n'est pas en soi irréaliste, et que plusieurs quartiers de l'agglomération lyonnaise présentent ce profil d'une répartition équilibrée des profils de revenu.

La population actuelle des quartiers du Mas du Taureau et du Pré de l'Herpe, comme les autres quartiers défavorisés de l'agglomération, présente un profil de répartition des revenus fortement typé. Selon les données fiscales, 64% de ses habitants appartenant au premier quintile de revenu¹ de l'aire urbaine de Lyon. Selon les données de l'enquête ménages, respectivement, 59%, 24%, 11%, 6% et 0% appartiennent au 1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} quintile de revenus de l'agglomération. L'objectif d'une parfaite mixité sociale (20% pour chaque classe) consisterait à relocaliser les 39% et 4% des populations très modestes et modestes sur le reste de l'agglomération.

Pour atteindre cet objectif, des scénarios très différents de mouvements résidentiels à l'intérieur de l'agglomération peuvent être imaginés. Pour rendre compte de l'impact potentiel de ces mouvements sur les mobilités quotidiennes, nous avons là encore procédé par scénarios en imaginant un cas de **mouvement « neutre »** (les personnes à revenu modeste quittant les quartiers testés s'établissent en 1^{ère} couronne ; les nouveaux résidents proviennent de 1^{ère} couronne), un **mouvement de recentrage** (les personnes à revenu modeste quittant les quartiers testés s'établissent dans le centre ; les nouveaux résidents proviennent de 2^{ème} couronne), et un **mouvement d'étalement** (les personnes à revenu modeste quittant les quartiers testés s'établissent en 2^{ème} couronne ; les nouveaux résidents proviennent du centre).

¹ Pour prendre en compte les économies d'échelle réalisables en fonction de la taille des ménages, les revenus utilisés ici sont calculés par UC (Unités de Consommation). L'Insee propose ainsi de compter la première personne pour 1, puis tous les autres adultes pour 0,5 et les enfants de moins de 15 ans pour 0,3.

Les calculs sont réalisés à partir de la base 2001 de la Direction Générale des Impôts fournie à l'IRIS par l'Insee.

Sans prétendre fournir de mesure exacte de l'impact du projet urbain sur l'empreinte écologique de la mobilité, les calculs permettent ainsi d'évaluer la sensibilité des résultats aux relocalisations de la population.

2. Le recours à l'enquête ménages déplacements lyonnaise de 1995

L'enquête ménages déplacements lyonnaise de 1995 a dès lors été utilisée pour établir 15 profils de mobilité et les 15 empreintes écologiques correspondantes en croisant les 5 quintiles de revenu avec les 3 localisations résidentielles possibles. Les anciens et les nouveaux résidents basculent d'un type à l'autre en fonction de leurs zones de déménagement et les profils établis permettent d'estimer l'impact du projet à partir des variations d'empreintes impliquées par les différents scénarios envisagés. Dans ce cadre, les scénarios proposés et les estimations réalisées fournissent une bonne idée de l'ampleur des variations possibles de l'empreinte écologique liée aux impacts du projet sur les mobilités individuelles. Avant de présenter les résultats obtenus, il reste à présenter rapidement les avantages et limites de l'enquête ménages et le calcul de l'empreinte écologique.

2.1. Questions de représentativité

En 1995, l'enquête lyonnaise a permis de recueillir les caractéristiques de 6001 ménages, soit 13 997 personnes de 5 ans et plus ayant réalisé 53 213 déplacements. Cet échantillon a été tiré au sein d'un territoire élargi débordant du périmètre de la Communauté Urbaine et représentant une population totale de 536 000 ménages et 1 280 000 personnes (moins de 5 ans incluses). Travaillant à partir des revenus et de la localisation des individus pour en déduire leur mobilité, il apparaît nécessaire de s'interroger sur la capacité de cette enquête ménages à représenter ces deux variables.

Le revenu dans ce type d'enquêtes « interview », même s'il est censé prendre en compte les prestations sociales par exemple, est largement sous-estimé par rapport au revenu fiscal de la DGI. Ainsi, la moyenne globale établie au sein de l'agglomération laisse apparaître une sous estimation d'environ 15% liée à l'omission de certains revenus hors salaires chez les ménages favorisés. Cependant, la structure des revenus est bien respectée et le revenu moyen dans les quartiers pauvres est relativement le même entre les deux sources de données.

Il n'y a pas de problème de représentativité à croiser les 5 quintiles de revenu avec les 3 types de localisation envisagés. Par contre, rendre compte de la mobilité des résidents actuels des quartiers du Mas du Taureau et du Pré de l'Herpe à partir de l'enquête ménages est plus délicat car seulement 43 ménages y ont été interrogés, dont moins de 30 appartenant au 1^{er} quintile. Plutôt que de rester à cette limite de la représentativité statistique, nous avons utilisé la base exhaustive de l'INSEE-DGI pour sélectionner d'autres zones fortement polarisées en termes de revenu, avec des caractéristiques similaires de localisation en 1^{ère} couronne et d'offre de TC. L'échantillon de 441 ménages ainsi obtenu permet d'obtenir des résultats

convergeants avec ceux des quartiers vaudais, tant en termes de taux de motorisation que de caractéristiques de mobilité. Ce sont les chiffres moyens de l'ensemble des quartiers sélectionnés qui ont été utilisés pour les calculs.

2.2. Le calcul de l'empreinte écologique

« L'empreinte écologique est la surface correspondante de terre productive et d'écosystèmes aquatiques nécessaires à produire les ressources utilisées et à assimiler les déchets produits par une population définie à un niveau de vie matériel spécifié, là où cette terre se trouve sur la planète » (Rees, Wackernagel, 1999). L'entité humaine considérée (monde, pays, ville, individu, etc.) est ainsi assimilée à un organisme vivant, qui consomme des ressources et rejette des déchets pour vivre. Le calcul de l'empreinte écologique consiste à estimer une surface théorique de sol nécessaire pour produire ces biens et services consommés et pour assimiler l'ensemble des déchets résultants. (cf. par exemple Monfreda et alii, 2004).

Concernant le calcul de l'empreinte liée aux transports, plusieurs grands paramètres peuvent être distingués, avec les émissions de CO₂ dues à la combustion de pétrole, celles dues à la fabrication et à l'entretien des véhicules et enfin celles liées à l'espace. Les émissions de CO₂ constituent ainsi la composante dominante de l'empreinte des transports. Traduites en termes d'espace, elles correspondent au nombre d'hectare de forêt nécessaire pour les absorber et éviter leur accumulation dans l'atmosphère. On peut estimer le taux de séquestration du CO₂ à 1 tonnes pour 0,2586 hectares globaux (Barett et al., 2003).

Les calculs des émissions de CO₂ reposent sur la méthodologie proposée dans le programme européen MEET (European Communities, 1999). Les adaptations liées aux spécificités de l'enquête ménages sont présentées en détail dans (Nicolas et al, 2001). Pour donner des ordres de grandeur, les émissions de CO₂ moyennes sont estimées à 177 g/pass.km pour les automobilistes lyonnais, 59 g pour les usagers des TC et 0 pour la marche à pied et le vélo. Leurs empreintes écologiques respectives sont alors de 458, 153 et 0 m² pour 1000 pass.km.

Concernant l'énergie nécessaire à la construction, l'entretien et le traitement de fin de vie des véhicules, une étude conduite par Jean-Marc Jancovici pour l'Ademe nous a conduit à imputer 30% d'émissions supplémentaires à celles liées à la circulation (Nicolas et al., 2006). De même, les transports collectifs, elle correspond à 25% des émissions liées aux pass.km.

La consommation de sol liée aux infrastructures a été ramenée au prorata des trafics par mode et les surfaces des stationnements sur voirie publiques ont été prises en compte. On obtient dès lors une consommation moyenne de 230 hag pour 1000 habitants dans l'agglomération, soit environ 1% de l'empreinte mobilité totale.

3. Les impacts du projet de réhabilitation sur l’empreinte écologique de la mobilité

3.1. L’empreinte mobilité actuelle

À l’échelle de l’agglomération, comme nous l’avons vu précédemment, l’essentiel de l’empreinte écologique des transports est due aux émissions de CO₂ et donc à de la consommation de sol énergétique. Ainsi, 79% de l’empreinte des transports est liée aux consommations de carburant et 20% à la construction et à l’entretien des véhicules. Les 1% restants correspondent aux infrastructures de transport et donc à de la consommation de sol construit (Nicolas et al., 2006).

En se focalisant sur les émissions de CO₂ liées à la mobilité locale des lyonnais, nous constatons que cette dernière est positivement corrélée avec la localisation résidentielle des ménages, leurs niveaux de revenus, leur niveau de motorisation et aux distances parcourues notamment en voiture conducteur. Un habitant du centre à très faible revenu émet 4 fois moins de CO₂ par rapport à un habitant très aisé de la deuxième couronne. Cela n’est guère surprenant sachant que ce dernier est 4 fois plus motorisé et parcourt 3 fois plus de distances, dont 76% en voiture conducteur contre seulement 32% pour le premier. La mixité fonctionnelle du centre ainsi que le maillage de son réseau font, en partie, que respectivement 12,5% et 40% des distances parcourues par les habitants du centre à très faible revenu sont effectuées à pied et en transport en commun.

Nous mettons bien en évidence dans cette partie que les émissions de CO₂ et l’empreinte mobilité sont principalement déterminées par le niveau de revenu et par le lieu de localisation. Un lyonnais moyen émet 0,737 tonnes de CO₂ par an pour ses déplacements quotidiens et de week-end effectués à l’intérieur de l’agglomération, ce qui correspond à une empreinte écologique de 0,34 Hectares globaux. Cette empreinte écologique varie de 0,14 (Hag/an), pour un habitant du centre avec un très faible revenu, à 0,64 (Hag/an), pour un très riche habitant de la 2^{ème} périphérie.

À l’échelle du quartier vaudais, l’empreinte écologique liée à la mobilité d’un habitant des quartiers vaudais est nettement moins importante que celle de la moyenne de l’agglomération lyonnaise ou de la même couronne. Elle est de 0,24 hectares globaux par an contre 0,34 (Hag/an) pour un lyonnais moyen et 0,35 (Hag/an) pour un habitant de la 1^{ère} couronne. Ces tendances sont relativement respectées même en distinguant les niveaux d’empreinte écologique par classe de revenu. Reste que le niveau d’empreinte d’un vaudais avec un très faible revenu est très proche de celui d’un lyonnais moyen appartenant à la même classe de revenu ((0,17 (Hag/an) par rapport à 0,20 (Hag/an), respectivement). En effet, une grande partie des lyonnais les plus modestes est concentrée dans les quartiers polarisés de la première couronne, y compris dans ce quartier de Vaulx-en-Velin. En revanche, les classes moyennes et aisées du quartier ont pratiquement la même

empreinte mobilité que celle des habitants de la 1^{ère} couronne ou de l'ensemble de l'agglomération. L'installation de nouvelles populations appartenant aux classes moyennes et aisées accroîtra le niveau d'émissions dans ce quartier à dominante très pauvre.

3.2. Scenarii de relocalisations résidentielles suivant un objectif de mixité sociale

À l'échelle de l'agglomération, même si le profil de revenus des populations entrantes et sortantes par la relocalisation est le même dans les différents scénarios, la provenance des uns et la destination des autres peut modifier l'empreinte mobilité puisque cette dernière est sensible à la localisation résidentielle.

Les relocalisations des populations entrantes et sortantes du quartier vaudais selon le *scenario neutre* n'ont aucun impact sur le niveau de l'empreinte mobilité de l'agglomération. Le niveau d'empreinte écologique reste pratiquement le même (0,34 Hag/an) puisque ces populations restent dans la même couronne. Ce scénario permet donc de créer une mixité sociale à l'échelle du quartier sans modifier l'empreinte mobilité de l'ensemble de l'agglomération.

Selon le *scénario de reconcentration urbaine*, les populations sortantes du quartier vaudais s'installent au centre et les populations entrantes se rapprochent du centre puisqu'elles viennent de la 2^{ème} périphérie. Cette reconcentration diminue légèrement le niveau de l'empreinte mobilité de l'ensemble de l'agglomération (-0,3%).

Selon le *scénario d'étalement urbain*, les populations sortantes du quartier vaudais s'installent en 2^{ème} couronne et les populations entrantes viennent du centre. Cette déconcentration de la population augmente le niveau de l'empreinte mobilité de l'ensemble de l'agglomération de 0,3%.

L'empreinte mobilité au niveau de l'agglomération est donc sensible aux scenarii de relocalisation résidentielle, même si les variations sont relativement faibles puisque la part de la population concernée reste très faible. Le quartier vaudais de l'enquête ménage 1995 concentre à peine 1,3% de l'ensemble de la population lyonnaise et le solde de l'empreinte liée à la mobilité des populations qui changent de résidence avant et après chaque scénario est de l'ordre de 1200 Hag par an, sur l'ensemble de l'agglomération.

À l'échelle du quartier vaudais, selon nos hypothèses de départ, l'empreinte mobilité du quartier serait indépendante de la provenance des individus puisqu'ils auront la même empreinte que les individus de la 1^{ère} couronne appartenant à la même classe de revenu. Le profil de revenus des populations cibles étant identique pour les différents scenarii (médian, bas et haut), la nouvelle empreinte à l'échelle locale sera la même.

Un projet type de mixité sociale au niveau du quartier vaudais augmente sensiblement l’empreinte mobilité par habitant (+44%). Elle augmente de 0,24 (Hag/hab/an) à 0,34 (Hag/hab/an) après chaque scénario. Autrement dit, le départ des populations modestes et l’arrivée de nouvelles populations moyennes et aisées augmente l’empreinte mobilité totale sur le quartier vaudais d’environ 1508 Hectares globaux par an quelle que soit leur provenance. Si nous considérons seulement les quartiers du Mas du taureau et Pré de l’Herpe (5473 habitants) parmi l’ensemble du quartier vaudais de l’enquête ménage, l’empreinte moyenne de (0,34 Hag/hab/an), correspondrait à cette échelle à une hausse de 1105 hectares globaux pendant toute l’année par rapport à l’empreinte avant projet. En revanche, l’impact des relocalisation sur l’empreinte de l’agglomération est plus faible à ce niveau fin du quartier car la part des populations concernées est encore plus réduite dans l’ensemble de l’agglomération.

Finalement, un projet de réhabilitation d’un quartier modeste visant à attirer des populations plus aisées conduit à l’augmentation de l’empreinte mobilité du quartier en fonction du niveau de vie des populations cibles. Cela dit, le quartier n’est sûrement pas l’échelle la plus pertinente pour évaluer l’impact d’un projet en terme d’empreinte écologique. Alors que l’empreinte mobilité augmente au niveau du quartier, elle peut baisser à l’échelle de l’agglomération comme c’est le cas dans le scénario Bas.

À l’échelle de la population concernée : en fixant cette fois-ci le niveau d’observation sur les seules populations concernées par les mobilités résidentielles induites par le projet, à savoir les populations entrantes et sortantes par rapport au quartiers vaudais, nous constatons des changements importants dans l’empreinte mobilité. Si cette dernière reste relativement stable suite au scénario médian puisque les permutations se font au niveau de la même couronne (1^{ère}), elle augmente sensiblement dans les deux autres scénarii. Selon le *scénario de reconcentration urbaine*, l’empreinte mobilité moyenne des populations ciblées était de 0,38 (Hag/hab/an) avant le projet. Un niveau assez élevé puisqu’il concerne des habitants de la 1^{ère} périphérie et surtout des riches de la 2^{ème} périphérie. La moyenne passe à 0,30 (Hag /hab/an) après les relocalisations de ces populations dans le quartier vaudais et dans le centre, marquant ainsi une baisse de 20% de la moyenne de leurs émissions. L’émission moyenne des populations concernées par le *scénario d’étalement urbain* est, en revanche, plus faible par rapport au premier scénario, car il s’agit des habitants moyens et aisés du centre et des habitants modestes du quartier vaudais. Elle est de 0,24 (Hag /hab/an), ce qui correspond à l’empreinte actuelle d’un Vaudais moyen. Le projet de mixité sociale augmenterait de 60% le niveau de l’empreinte mobilité de ces populations puisque elles seraient de l’ordre de 0,38 (Hag /hab/an).

4. En guise de conclusion

Cette analyse de la mobilité des habitants du quartier vaudais et de l’empreinte qui lui est associée nous permet de confirmer certaines hypothèses. L’empreinte mobilité locale augmente avec le revenu du ménage et l’éloignement du centre, en lien avec la croissance du taux de motorisation et des distances parcourues quotidiennement. Ainsi, l’empreinte augmente régulièrement de 0,20 hag/an/pers pour Q1 à 0,44 pour Q5 (moyenne de 0,34). De même, elle est de 0,25 dans le centre, 0,35 en 1^{ère} couronne, et 0,47 en 2^{ème} couronne. En conséquence, l’empreinte mobilité des résidents du quartier vaudais est beaucoup moins importante que l’empreinte moyenne des habitants de l’agglomération lyonnaise ou de la 1^{ère} couronne (leur empreinte moyenne est de 0,24 hag contre 0,35 hag pour les habitants de 1^{ère} couronne).

A l’échelle du quartier, la recherche d’une meilleure mixité sociale, en attirant des populations moyennes et aisées, conduit à une augmentation de l’empreinte mobilité locale par habitant : elle passerait ainsi de 0,24 hag à 0,34 hag par an et par personne (soit +44%). Cependant, les impacts du projet dépassent ce cadre puisqu’ils jouent sur l’évolution de la mobilité des nouveaux arrivants (qui va varier différemment selon leur zone de provenance) comme sur celle des habitants quittant le quartier (qui va également varier différemment selon la nouvelle zone de résidence). Ainsi, suivant les migrations résidentielles générées par le projet, l’empreinte mobilité de l’ensemble des populations concernées peut baisser (cas d’une reconcentration des populations) comme elle peut augmenter (cas d’une migration tournée vers l’étalement urbain). Dans le cas d’une reconcentration, l’empreinte mobilité locale pourrait ainsi passer de 0,38 à 0,30 hag/pers/an (soit – 20%). Dans le cas d’un étalement, elle pourrait augmenter de 0,24 à 0,38 hag (soit +60%).

Cela conduit à la question de l’échelle pertinente pour évaluer l’impact d’un projet local sur l’empreinte écologique liée à la mobilité individuelle quotidienne. C’est de fait l’échelle de l’agglomération qui apparaît comme l’échelle géographique la mieux adaptée pour prendre en compte les mobilités impliquées par un tel projet et mesuré correctement les variations d’empreinte mobilité engendrées. L’empreinte écologique ne peut pas prétendre représenter tous les impacts positifs que le projet de réhabilitation peut avoir sur le cadre de vie : la pollution locale, les nuisances sonores ou l’insertion paysagère ne sont, par exemple, pas pris en compte par cet indicateur. Par ailleurs, même si le projet a un impact profond sur la configuration et la nature des déplacements au sein du quartier, l’empreinte écologique sera peu affectée car cette mobilité de proximité, mesurée en termes de distance parcourue et d’émissions de CO₂, est marginale par rapport aux autres déplacements.

Enfin, les résultats présentés ici restent restreints à l'impact du projet sur la composante transport de l'empreinte écologique. Ils mériteraient d'être élargis aux autres dimensions classiquement distinguées, à savoir l'alimentation, le logement et les consommations de biens et services. Là encore, l'échelle d'observation reste importante : au niveau du quartier, on pourrait observer une augmentation de l'empreinte par tête puisqu'il accueillera une population plus aisée et moins nombreuse sur une même surface ; par contre, observé au niveau de l'agglomération, les résultats pourraient être très différents et contrastés suivant, là encore, la destination des anciens habitants et la provenance des nouveaux. Ces variations de l'empreinte liées aux modes de vie et d'habiter devront enfin être mises en regard de l'énergie dépensée pour détruire les anciens immeubles et en reconstruite de nouveaux.

Références

- 1- Barret J., Scott A., *The Application of the Ecological Footprint: A case of Passenger Transport in Merseyside*. Local Environment, 2003, n°2, pp 167-183.
- 2- Bouzouina L., « Densité et ségrégation socio-spatiale au sein des villes françaises », in Gaschet F, Lacour C, *Métropolisation et ségrégation*, Bordeaux, Presse Universitaire de Bordeaux, 2008, pp.120-134.
- 3- European Communities, DG VII, *MEET, Methodology for calculating transport emissions and energy consumption*. Luxembourg, Rapport commun INRETS, AUTH, TRL, TÜV, DTU, 1999, 362 p.
- 4- Gallez C., Hivert L., 1998, *BEED: mode d'emploi, synthèse méthodologique pour les études " budgets-énergie-environnement des déplacements "*, Rapport de Convention INRETS/ADEME.
- 5- Jancovici J-M., *Bilan carbone d'une activité industrielle ou tertiaire. Description de la méthode : objectifs, résultats exploitables, choix méthodologiques*. Rapport réalisé pour le compte de l'ADEME, 2004, 223p.
- 6- Monfreda C., Wackernagel M., Deumiling D., « Establishing national capital account based on detailed ecological footprint and biological capacity accounts ». *Land Use Policy*, n°21, 2004, pp. 231-246.
- 7- Nicolas J-P., Leduc D., Verry D., « L'empreinte écologique de la mobilité des Lyonnais : avantages et limites de l'outil appliqué à la mobilité des habitants d'une agglomération ». *Colloque Energy Material Urban Environment*, Paris, 18-19 mai 2006. 16 p.
- 8- Nicolas J-P., Poschet P., Poimboeuf H., *Indicateurs de mobilité durable sur l'agglomération lyonnaise*. Lyon, LET, Coll. Etudes & Recherches n°16, 2001, 128 p.
- 9- Orfeuil J-P., Soleyret D., « Quelles interactions entre les marcjés de la mobilité à courte et à longue distance ». *Recherche Transport Sécurité* n°76, 2002, p.208-221.
- 10- Raux C., Traisnel J-P., Nicolas J-P., Delevert K., *Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL*. Rapport R2. Action concertée CNRS - Ministère de la Recherche. LET, Lyon, 2005, 138 p.
- 11- Wackernagel M., Rees W., *Notre empreinte écologique*. Montréal, Editions Ecosociété, 1999, 207 p.

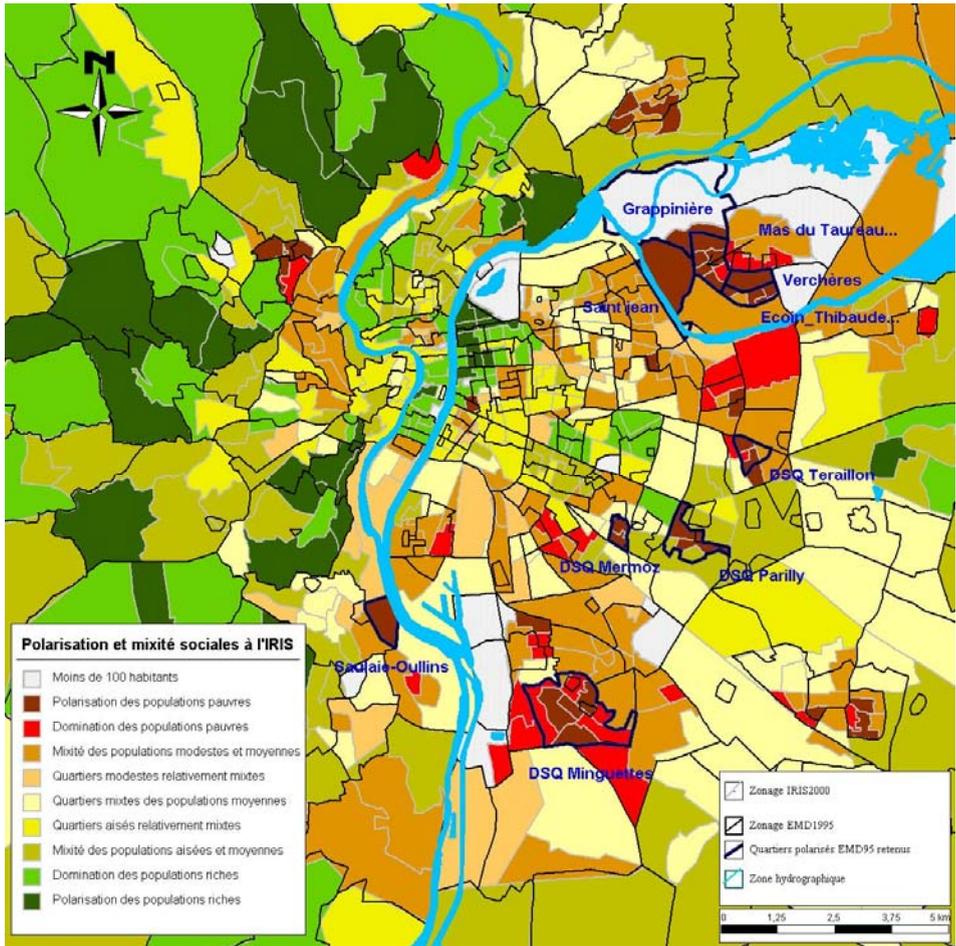


Figure 1- La polarisation et la mixité sociale des quartiers de l'aire urbaine lyonnaise

L.Bouzouina ; carte des distributions des revenus à l'Iris, à partir des données INSEE-DGI 2004, IGN

La superposition des différents moyens de transport et leurs impacts sur l'environnement. Cas d'Alger

Mounya Daoudi

Magister en Architecture « Projet Urbain » Lab. Ville et santé. Univ. Mentouri Constantine Algérie. Tel +213 666 57 64 22 - email : monitecte503@yahoo.fr

Abstract:

The overlapping of different transport modes and their impacts on the environment; Cases of Algiers

Algiers has known since independence a dizzying urban development mainly due to its position as capital also has its role as attractive metropolis in the central region of the country. A space does this development is not accompanied modernization of transport infrastructure and causing a malfunction and a permanent congestion ment especially in peak hours. Despite the efforts and policies undertaken by governments to end solve the problems involved in this context, the latter remains below expectations, although it should be noted positive actions aimed at improving conditions of transport (metro, tramway...) Meanwhile, the fleet has increased considerably and causing a real problem of parking , this has not been without consequence on the environment where we can see that the air quality is extremely degraded. The rail network and issuer of noise.....

Keys-words: *infrastructure, transport, environment, air quality , nuisances.*

1. Introduction

Les critères de protection de l'environnement élaborés au cours des dernières années pour le secteur du transport doivent être appliqués en fonction des conditions environnementales rencontrées et avec une pondération modulées en fonction des circonstances.

2. Les effets sur l'environnement de chaque un des modes et mesures de protection :

1) Effets du transport routier sur l'environnement et mesures de protection :

L'impact écologique des transports routiers se caractérise par le fait qu'il est la somme d'une multitude de petites nuisances, auxquelles contribuent les équipements d'infrastructure associés au trafic routier (raffineries, transports de carburants, atelier, décharges automobiles) :

Emission dues aux transports routiers : chaque véhicule pollue l'environnement ; ceci est notamment lorsque les émissions augmentent fortement par suite du mauvais état des moteurs (hydrocarbures imbrûlés, bruit, ...), et que les véhicules perdent des liquides dangereux pour l'eau (huiles, carburants, etc.)

- a. **Polluants atmosphériques :** la circulation automobile rejette principalement les polluants atmosphériques suivants :

Le monoxyde de carbone, inoffensif pour les animaux dépourvus de système sanguins et les plantes.

Certains hydrocarbures (le benzène par exemple) sont cancérigènes pour l'homme.

Les oxydes d'azote sont irritants pour l'homme et peuvent attaquer les organes respiratoires.

Sous l'effet du rayonnement ultraviolet, les oxydes d'azote et les hydrocarbures donnent naissance à l'ozone.

Le plomb et d'autres métaux sont toxiques pour l'homme. Se déposant dans les os, ils provoquent des perturbations du système nerveux central.

- b. **Bruit :** le bruit a des conséquences nombreuses, citées ici par ordre de gravité : gêne, perturbation de la communication entre les personnes, troubles graves (perturbation du sommeil, manque de repos, diminution des performances individuelles), maladies (difficultés d'audition, affections cardio-vasculaires). Ces bruits de circulation ne sont pas liés uniquement à l'état technique des véhicules mais aussi au style de conduite de chaque automobiliste (vitesse et rapport de boîte de vitesse, accélération et freinage).
- c. **Usure et pertes d'huile :** Contrairement aux polluants atmosphériques, les produits d'usure toxiques ou l'huile n'affectent pas directement l'homme mais peuvent indirectement le priver de ses bases d'existence, notamment lorsque les sols ne peuvent plus être cultivés sans risques pour la santé ou qu'ils ne sont plus habitables.
- d. **Consommation énergétique :** À l'heure actuelle, la circulation automobile repose presque exclusivement sur les carburants pétroliers. La promotion exclusive du trafic automobile risquerait par conséquent de concentrer d'importants moyens financiers sur l'approvisionnement en carburants, privant peut être d'autres secteurs d'une source d'énergie précieuse.

Diminution des transports routiers et transfert vers d'autres moyens de transport dans le cadre de l'aménagement du territoire et par l'élaboration d'une stratégie globale et intégrée des transports : associée à la politique d'aménagement

du territoire, la stratégie générale des transports doit avoir deux priorités : rendre les transports plus écologiques et en réduire le coût macro-économique. Les concepts suivants peuvent permettre d'atteindre ces objectifs :

- a) Décentralisation de l'habitat, des entreprises industrielles et commerciales ainsi que des équipements de distribution afin de réduire les distances de transport ;
- b) Amélioration de l'attractivité des transports urbains « propres » (marche à pied, bicyclette, autobus, tramway, chemin de fer urbain) ;
- c) Livraison des marchandises par des véhicules utilisés à pleines capacités et adaptés à la circulation en ville (camionnettes silencieuses et non polluantes)
- d) Pour les activités de transport non complexes, des systèmes de transport dédiés peuvent être des moyens à la fois plus écologique et plus économiques que le camion, la voie ferrée ou le bateau.

2) Effets du chemin de fer sur l'environnement et mesures de protection :

Effets sur les sols : la construction des voies ferrées et de leurs installations périphériques s'accompagne de déplacements de terre. Il faut en effet remblayer les digues.

Effets sur les eaux de surface : les voies ferrées sur digues et celles construites en tranchée (avec leurs bassins versants souvent considérables) doivent être dotées de drainages latéraux performants.

Emissions à l'échappement : le rejet de gaz d'échappement dépend en premier lieu du mode de traction. Les principaux polluants présents dans les échappements de moteurs diesel sont :

- Le monoxyde de carbone (CO),
- Les hydrocarbures (CH),
- Les oxydes d'azote (NO_x),
- Le dioxyde de soufre (SO₂),

La mise sur pied d'un transport ferroviaire écologique ne peut se faire que par la conjugaison des facteurs suivants :

Sécurité des équipements, en conformité avec l'état de la technique (véhicule, traitement) ;

Mise en œuvre sûre de ces équipements par un personnel formé à cet effet ;

Organisations de mise en œuvre renforcées sur le plan institutionnel, assurant la surveillance et le contrôle environnemental.

3) Effets des aéroports sur l'environnement et mesures de protection :

Bruit provoqué par les avions : le bruit des avions est considéré comme la source de bruit la plus désagréable. Par ailleurs, les nuisances dues au bruit dans l'environnement proche d'un aéroport sont inévitables. L'intensité et les effets du bruit produit par un aéroport sont déterminés par les facteurs suivants :

- Heures des décollages et atterrissage (jour/nuit),
- Nombre de décollages et atterrissage,
- Type de freinage (inversion de poussée),
- Type d'avion,
- Orientation des pistes de décollage et atterrissage ainsi que des trajectoires de vol.

Qualité de l'air : Compte tenu des qualités de polluants rejetées par des avions, des facteurs météorologiques et des phénomènes chimiques se produisant dans l'aire, on peut considérer que les charges de pollution dues au trafic aérien dans les agglomérations sont faibles par rapport aux sources terrestres. Les émissions produites entre 6 et 12km d'altitude ont des effets additionnels dont le potentiel de nuisance n'est actuellement pas encore connu. Des émissions élevées (CH, CO, NOx) peuvent se produire dans les environs immédiats des aéroports, lorsque les mouvements d'avions sont importants. L'intégration de la zone aéroportuaire dans un système régional de surveillance de l'air est donc souhaitable.

Nuisances olfactives : Les émissions produites par le trafic aérien génèrent des nuisances olfactives. En général, elles sont limitées à la zone de vol et son environnement immédiat.

Microclimat : Les constructions occupant une grande surface au sol entraînent généralement une modification des conditions climatiques naturelles.

4) Effets du port maritime sur l'environnement et mesures de protection :

L'impact environnemental du port maritime est généralement important. Il découle d'une part de la construction, de la transformation ou de l'extension des installations portuaires (infrastructure et superstructure), mais aussi du fonctionnement de toutes ces installations ainsi que des entreprises industrielles, artisanales et commerciales et des systèmes de circulation (sur terre ou sur l'eau). L'impact environnemental affecte l'eau, le sol et l'air ainsi que la faune et la flore (terrestres et aquatiques) et les êtres humains.

Causes	effets sur
Construction,	l'eau,
Transformation,	le sol,
Aménagement/extension	l'air,
Fonctionnement de tout,.....	la flore/faune (aquatiques/terrestres),
Les installations et systèmes,.....	les êtres humains.

Des effets particuliers sont générés par les marchandises dangereuses répertoriées selon la codification IDMG (International Maritime Dangerous Goods), même si elles ne sont traitées qu'en petites quantités. Ces activités entraînent des modifications du milieu physique et des conditions de vie et peuvent donc avoir une influence sur l'homme, les animaux, la nature et les paysages.

D'une manière générale, il n'est pas possible d'éviter les effets des constructions portuaires sur l'environnement. Toutefois, il est dans une large mesure possible de planifier et de réaliser des projets soucieux de respecter les impératifs environnementaux, il importe d'assurer dès le stade de l'étude, que les activités d'exploitation soient mises en œuvre avec le minimum de nuisances et de pollutions environnementales, en fonction des possibilités techniques.

Nous avons met en débat la superposition des différents moyens de transport développés à Alger (routiers, aériens, ferroviaires, maritimes,) et leurs impacts sur l'environnement mais :

Quels sont les moyens à mettre en œuvre pour minimiser l'impact du transport sur l'environnement?

Quel avenir pour un transport répondant aux normes environnementales et exigences des citoyens ?

Faut-il aller vers de nouveaux types de transport?

Dans le cas d'Alger seule la solution écologique du tramway qui pourra répondre à ces questions :

« Le tramway, ça change la vie... et ça changera la rue TRIPOLI! »

« Choisir le tramway, c'est faire le pari d'une ville qui respire mieux, qui s'embellit et qui innove... »

« Une ville qui respire mieux avec de nouveaux aménagements urbains. Tout l'espace public est repensé : grâce à des voies de circulation spécifiques, les différents modes de déplacement (à pied, en transport public, en voiture) sont mieux pris en compte pour faciliter le quotidien de tous. »

« Une ville qui s'embellit avec des espaces verts plus nombreux, du gazon, des fleurs, de nouveaux éclairages pour des nuits plus conviviales... Une ville qui innove en choisissant un mode de transport moderne et confortable qui s'intègre parfaitement dans le quotidien, Une ville qui unit, qui réunit avec un transport accessible à tous... »

Un transport écologique,

Le tramway contribue au respect de l'environnement en utilisant une énergie propre. Et sa mise en place permet une baisse d'environ 25 % du trafic automobile. Et qui dit moins de voitures dit automatiquement moins de pollution !

...Peu bruyant,

Mode de transport électrique, le tramway génère peu de bruit grâce à l'utilisation de matériaux adaptés : rails et roues sont conçus pour ne pas crisser dans les courbes. Quant aux revêtements, ils contribuent aussi à diminuer efficacement le bruit. La position centrale du tramway sur les boulevards évite toute propagation de vibrations jusqu'aux immeubles. Lorsque la ligne est en position latérale, des dispositifs anti-vibratiles sont posés sous les rails.

Sous le signe du développement durable

Une politique volontariste de réduction de la pollution

Choisir un mode de transport propre comme le tramway, c'est faire le pari d'une ville qui respire mieux et qui innove...

Une ville qui respire mieux, c'est avoir comme priorité de travailler sans relâche sur les conditions qui peuvent préserver ou améliorer la qualité de l'air pour une meilleure santé des habitants. La volonté de diminuer la pollution en ville se traduit dans les choix engagés par la Ville en matière d'aménagement urbain autour du tramway. L'espace public est totalement repensé : la place accordée à la voiture est réduite et les circulations « douces » (à pied, en vélo) sont privilégiées.

3. Conclusion :

La mise en œuvre et la surveillance de normes maximales d'émission destinées à protéger l'environnement suppose que les organes de contrôle nécessaires soient institutionnalisés et fonctionnent correctement. Cet aspect doit être pris en compte dans les directives de planification.

Références bibliographiques

Transports routiers:

- 1- BECKMANN : Urban transport planning in development countries Aspects Schriftenreihe: Forschung,Entwicklung,Planung, Berlin, 1987.
- 2- DIOU: Transports urbains et pays en développement, Transp.Environ.Cir., numéro 46,1981.
- 3- Fiche technique sur les pollutions atmosphériques dans l'environnement de routes (MLuS-82) : publié par Forschungsges.für Straßen-und Verkehrs-wesen, Cologne, 1982.

Chemin de fer :

- 4- Décret sur le transport intérieur et transfrontalier de matières dangereuses par chemin de fer (décret sur les matières dangereuses fer-GGVE) du 22 juillet 1985 .J.O.fédéral 1985, partie I, page 1560.
- 5- Fiches techniques de sécurité DIN selon le décret sur les matières dangereuses.
- 6- Loi sur la limitation et l'élimination des déchets (loi sur les déchets) du 27.08.1986.

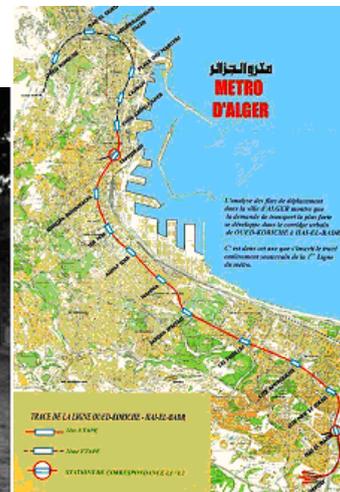
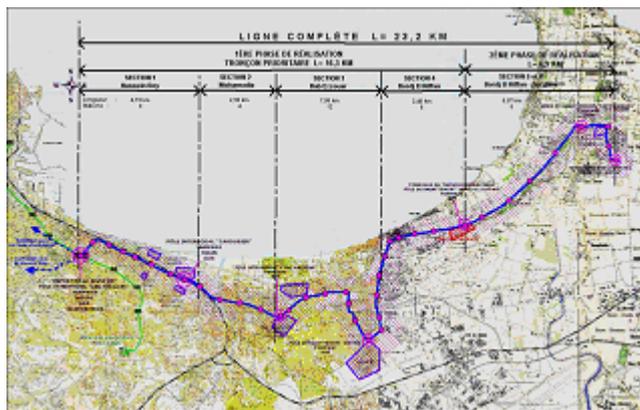
Aéroport :

- 7- Instruction de calcul des zones de protection contre le bruit (AzB) selon la loi sur la protection contre les bruits d'avion : ministère fédéral de l'intérieur, 1971.
- 8- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) : rapport de recherche Effets des bruits d'avions, volumes I,II,III, 1974.
- 9- International Civil Aviation Organisation: ICAO-Annexe, volume I, 1981 : (la publication sur les aéronefs (LSL) de l'office fédéral de l'Aéronautique de 1981 contient des valeurs-seuils équivalentes).
- 10- OMS : Air quality guidelines for Europe : Publications régionales de l'OMS. European Séries No. 23, 1987.

Ports :

- 11- Dispositions de lutte contre les pollutions pétrolières sur l'eau : groupe de projet concept global de la commission des accidents pétroliers mer/littoral, Cuxhaven, 1980.
- 12- Possibilités pratiques d'élimination des déchets pour les bateaux de voies navigables intérieures : Journal des ingénieurs maritimes, 32ème année, 1986.
- 13- Recommandations de la commission de travail « Protections des berges » EAU 1985 7^{ème} édition ; Editions d'architecture et de sciences, Ernst et sohn, Berlin.

Quelques illustrations :
Some illustrations:



Tramway d'Algier

La ligne Bab El-Oued-Hussein-Dey opérationnelle en 2008

Le plan de circulation de la capitale et des grandes villes sera révisé afin de rendre plus fluides les flux..



Pour un transport écologique

Annexe :

impacts du réseau routier sur l'environnement :

On peut distinguer les effets suivants rendus par les routes et leur entretien sur l'environnement naturel:

Effets indirects à grande échelle:

-Effets négatifs liés à l'équipement d'une région en infrastructure routière:

-Impact négative sur les zones méritants protection

Effets linéaires directs et influences ponctuelles

-Impact sur l'esthétique des paysages

-Effets de coupure sur les écosystèmes, modification du microclimat

-Place occupée par l'infrastructure dans le paysage et besoins de terrain

-Débroussaillage et décapage de la couche végétale

-Déclenchement de l'érosion des soles et modification de la structure du sol

-Influence sur le régime des eaux

-Augmentation du risque sécuritaire dû aux possibilités d'accident

-Influence sur la structure de l'habitat en milieux villageois et urbains

-Effet négatif de l'absence d'entretien

Effets récurrents :

-Bruit de construction

-Récupération des bitumes

-Dommages dus aux tremblements de terre

-Effets positifs :

*La construction des routes peut s'accompagner de travaux complémentaires ayant un impact favorable sur l'environnement :

*Création de bassins de retenue pour la population ou le détail, par relèvement du tracé au niveau des franchissements de cours d'eau ;

*Aménagement des sites d'emprunt en biotopes ou étangs ;

*Utilisation de la route comme bande coupe-feu ;

*Amélioration de la protection contre l'érosion (en particulier lors de l'entretien).

L'objectif de l'évaluation globale d'un projet de construction routière est :

De minimiser les nuisances et pollutions de base (protection des sols, bruit, propreté de l'air et des eaux),

Et de respecter ou de réaménager l'environnement d'une route, par des travaux spécifiques au projet ou par des mesures d'accompagnement.

Gestion durable des territoires et Politique publique de transport dans la wilaya de Tizi-Ouzou

Dalila Amiri et Dr Malika Ahmed Zaid

Laboratoire REDYL (Réformes Economiques et Dynamiques Locales)

Equipe Evaluation des politiques publiques locales

Faculté des Sciences Economiques et de Gestion

Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou

Mail : malika-ahmedzaid@mail.ummt0.dz

Résumé

Cadre général :

L'activité de transport est située au carrefour des échanges économiques Elle a des retombées bénéfiques sur la fluidité et l'efficacité dans les échanges. Les peuples ayant utilisé les meilleurs moyens pour le transport ont prospéré alors que ceux qui ne s'étaient pas doté de systèmes de transport adéquats sont restés à la traîne.

Au sens de la loi 01-13 du 07/08/2001 portant orientation et organisation des transports terrestres (article7), les transports (routiers et ferroviaires) de voyageurs constituent un service public. L'Algérie consacre 7 449 millions de DA de son budget de fonctionnement au transport pour l'année 2008 alors que les ménages ont affecté, en 2004, 9% de leurs dépenses de consommation au transport (soit 41,4 milliards USD).

Le transport terrestre est l'un des moyens de transport le plus usuel en Algérie. Il constitue un instrument incontournable de toute politique d'aménagement du territoire et de développement des différentes régions. Que ce soit pour les voyageurs ou pour les marchandises, pas moins de 85% empruntent quotidiennement la route, mais dans des conditions qui ne sont pas idéales.

La mobilité des personnes, des produits et des marchandises est indispensable pour la dynamique économique locale. Son efficacité dépend de la qualité des moyens de transport (véhicule, bus, minibus, train etc.) en terme de confort, de sécurité et de rapidité, de l'état des parcs et des parkings, de l'état du trafic routier, de l'état des routes et surtout leurs répercussions sur l'environnement. De là, l'indice de performance d'un système de transport se mesure par la possibilité qui est offerte aux utilisateurs de bénéficier d'un système permettant le déplacement dans des conditions optimum de coûts (en temps et en argent), de qualité et de sécurité.

Les problèmes rencontrés sont liés au manque d'infrastructures routières, à l'absence de l'accès aux véhicules neufs avec des facilités bancaires ou encore à

l'absence d'une politique claire du secteur. Il faut dire que la politique des transports est très loin de la réalité du terrain. Elle est fortement dépendante des capacités budgétaires et de la maîtrise de la réalisation des projets. L'option transport public n'a pas réellement pu s'imposer dans les choix publics et partant la création d'entreprises de grande envergure.

Objectifs :

Notre attention particulière est portée sur la wilaya de Tizi-Ouzou qui représente 0,13% du territoire algérien. L'exiguïté de la wilaya, au relief accidenté n'empêche pas 1 210 171 habitants de s'entasser sur les versants de la montagne et quelques rares plaines avec une densité moyenne de 409 hab./km².

Cette population est fortement concentrée aux sommets des montagnes. Le chef lieu de la wilaya exerce une attraction indéniable sur l'arrière pays, de par sa fonction économique, administrative, universitaire et culturelle. Il est à remarquer que seul le transport terrestre contribue à la concrétisation de cette fonction. Cependant, près de 680 km sur les 4 307 km que compte le réseau routier de la wilaya se trouve en mauvais état.

Dans l'état actuel, il n'y pas d'entreprises qui gèrent le secteur mais plutôt de nombreux opérateurs. A cela, il faut ajouter le nombre important de transporteurs urbains qui ne peut être facilement géré ou organisé, amplifié par le non respect de la réglementation et la mauvaise qualité des prestations offertes.

Il s'agira, à travers cette contribution de prendre la mesure de la désorganisation totale du secteur des transports, qui rend du citoyen à la fois victime et complice de l'anarchie qui règne dans le secteur du transport urbain.

Enfin, nous accorderons une attention particulière aux incidences directes et indirectes du trafic routier sur la santé publique et son impact sur l'environnement dans un souci de développement durable, par une implication du public surtout si cette dernière est accompagnée d'actions porteuses. C'est dans ce sens que sera entreprise une lecture critique de la loi n° 01-13, citée plus haut.

Méthode :

La méthode consistera à :

Opérer une évaluation quantitative et qualitative de la politique de transport dans la wilaya de Tizi Ouzou.

Prendre la mesure et calculer les taux de croissance réalisés dans le secteur en termes d'infrastructures réalisées, d'emplois créés et d'impact de l'activité de transport

Examiner la concentration des activités : Polarisation des activités et service de transports et leur impact sur la politique de la ville et sur l'arrière pays.

Etudier l'effet de congestion et saturation du réseau dans les principaux axes routiers

Etudier les répercussions de la déconcentration des services et des activités économiques, sociales et universitaires de manière à retenir les populations ou les orienter vers d'autres centres péri-urbains dans le cadre d'actions de régulation.

Innover dans les formes d'organisation : organiser les transporteurs en mutuelles et syndicats communaux et intercommunaux

Concevoir un modèle de quadrillage du réseau sur le territoire intégrant les sillons naturels, la topographie, l'orographie et l'exiguïté du territoire en procédant au redimensionnement du réseau routier,

Résultats et conclusions :

Dans cette contribution, nous nous proposons d'identifier et d'analyser les stratégies de développement local durable articulées autour des infrastructures de transport. Il s'agit, d'une part, d'évaluer les opportunités de développement du territoire concerné par l'arrivée de l'infrastructure de transport et de fédérer un milieu local où les retombées du projet seront à la dimension des stratégies élaborées par les différents acteurs. D'autre part, de répondre à l'interrogation centrale de savoir si une politique de transport terrestre efficace peut contribuer à une meilleure mobilité des personnes et des marchandises en intégrant la donnée environnementale de sorte à voir l'ensemble de la population s'approprier le projet et assurer sa réussite.

Mots clés : *Transport terrestre – Réseaux d'infrastructures – Service public – Politique publique – Mobilité des personnes – Développement durable.*

Impact environnemental du secteur du transport en Tunisie

Hassaïri Mohamed

Ecole Nationale d'ingénieurs de Tunis. Unité de recherche « énergie et environnement ».

GHARDAIA 27-29 OCTOBRE 2008

1. Introduction

La préservation du milieu atmosphérique constitue l'une des priorités de la politique environnementale tunisienne. Ainsi, la surveillance de la qualité de l'air, la prévention et la lutte contre la pollution atmosphérique sont, plus que jamais, à l'ordre du jour. La Tunisie signataire des protocoles de Kyoto et de Montréal s'est engagée volontairement dans une stratégie visant la réduction des effets globaux de la pollution atmosphérique et particulièrement le secteur du transport en pleine effervescence suite à une urbanisation rapide et un taux de croissance supérieur à 5 % annuellement. Réduire au maximum les impacts négatifs sur l'environnement, respecter les normes environnementales en vigueur de la qualité de l'air ambiant constitue un défi pour ce secteur en pleine croissance.

2. Balance énergétique

Les données énergétiques de la Tunisie sont résumées dans les tableaux 1 et 2

Tableau1. Balance énergétique année 2007.

Resources energetiques	8.2 MILLIONS TEP
Petrole	4 Millions,
Natural gas	4.1.
Energie eolienne	$5.1 \cdot 10^3$ TEP
Hydraulique	$14.3 \cdot 10^3$ TEP
Consommation energetique	7.7 MILLIONS TEP
SOLDE	+ 0.5 MILLIONS TEP

Tableau 2. Indicateurs energetiques.

Part du secteur énergétique dans le PIB	6%
Deficit financier	400 MILLIONS \$
Consommation énergie primaire par habitant	0.770 TEP
Intensité énergétique	0.35 TE P/1000\$
Part de l'énergie renouvelable	2.5%
CO ₂ émissions (1994)	1.6 Ton/Habitant.

3. Secteur du transport en Tunisie

Les données concernant le secteur du transport sont résumées dans le tableau et figures suivantes :

Tableau 3. Données sur le secteur du transport.

Taux de croissance	8% / an
Nombre de voiture	1.3 MILLIONS
Voiture/1000 habitants	120 voitures
(USA 500, France 633, UK 523)	

Diminution de la part du transport public :

(De 65 % en 1977 à 40 % actuellement)

Augmentation des mouvements :

(De 1.27/ jour/Personne à 1.45 en 2004)

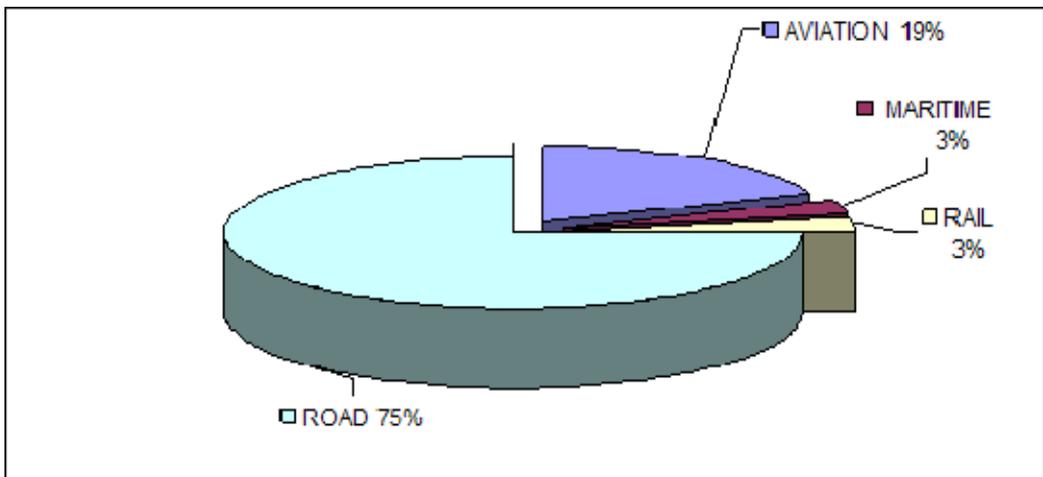


Figure 1 : Répartition par mode

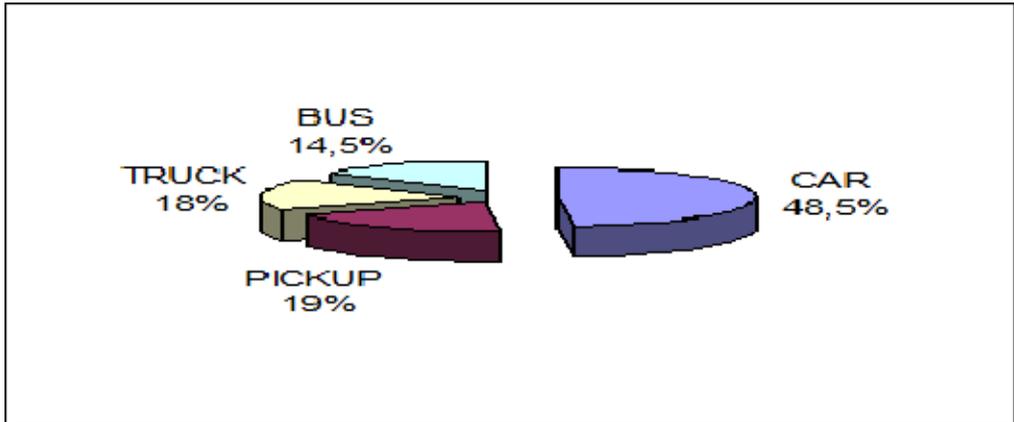


Figure 2 : Répartition par type de voiture

4. Impact environnemental

Vu que la pollution due au trafic automobile présente une partie importante du total des émissions gazeuses (plus que 30 % des dégagements de CO et des NOx) caractérisée par un développement rapide de la flotte nationale l'Etat tunisien a adopté une stratégie visant à .

4.1. Installation d'un réseau national de surveillance de la qualité de l'air.

En dehors de la pollution industrielle, la pollution en milieu urbain est due essentiellement aux émanations des gaz d'échappement des véhicules. A cet effet, l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE) a fait plusieurs campagnes de sensibilisation et de contrôle des gaz d'échappement des véhicules, dont l'objectif est de sensibiliser le public aux problèmes de la pollution atmosphérique engendrée par les moyens de transport ainsi que d'essayer de modifier le comportement de l'automobiliste en l'incitant à effectuer régulièrement le diagnostic du moteur de son véhicule et à veiller à son entretien. De même des stations fixes de mesure de la pollution atmosphérique sont installées dans des endroits à forte densité de circulation.

La figure suivante montre l'emplacement géographique et le monitoring des différentes stations de mesure des gaz polluants (SO₂, NO_x, CO, PM..)

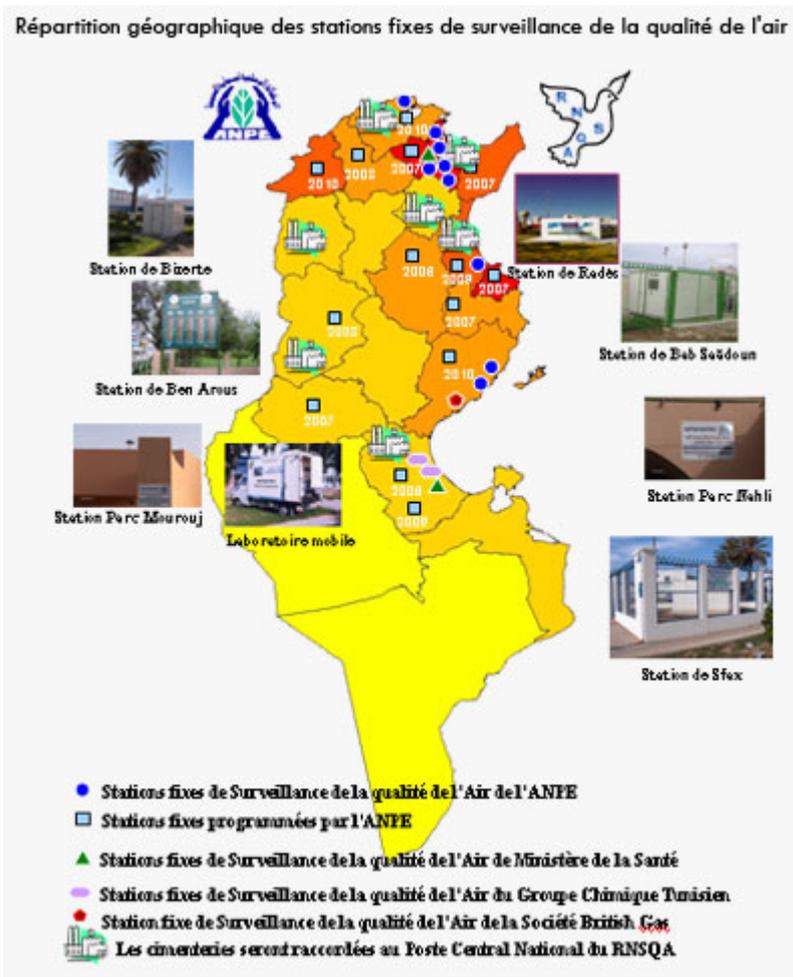


Figure 3 : Répartition géographique des stations de mesure de la pollution

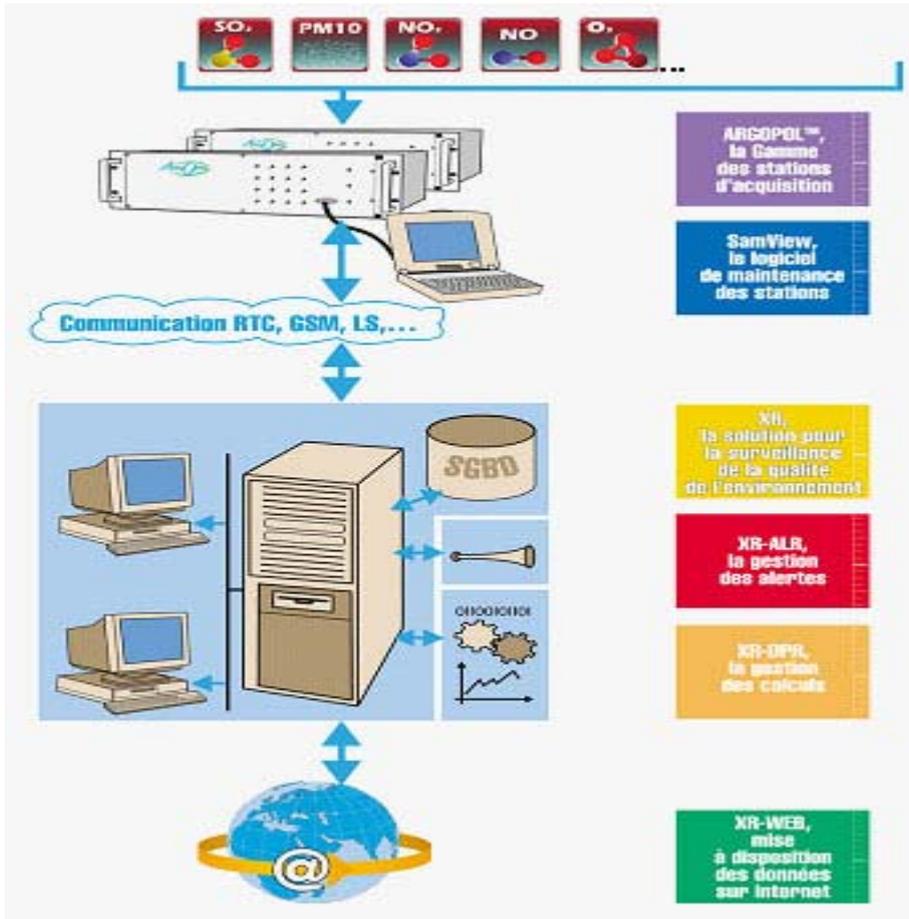


Figure 4 : Monitoring des stations de mesure.

Les valeurs mesurées par ces stations sont comparées aux valeurs standards conformément à la norme tunisienne NT 106 04 :

O3	235 $\mu\text{g}/\text{NM}^3$
NO2	660 $\mu\text{g}/\text{NM}^3$
SO2	1300 $\mu\text{g}/\text{NM}^3$
CO	
PM	260 $\mu\text{g}/\text{NM}^3$

4.2. Promouvoir l'utilisation des carburants propres:

- Généralisation de l'utilisation de l'essence sans plomb.

- Egalisation des prix du l'essence super et l'essence sans plomb.
- Préparation d'un plan national de promotion de l'utilisation du carburant propre.
- Réduction du taux de soufre dans les combustibles
- Plantation de la Jatropha pour essai comme agrocarburant

Tableau 4. Teneur en soufre des carburants en TUNISIE

FUELS	2006	2008
GASOLINE SUPER	0.5gr/l	0.15
HEAVY FUEL	4.0gr/l	1.0
FUEL OIL	1.0gr/l	0.3
DIESEL		50 ppm

4.3. Inclure le secteur du transport dans le programme national de maîtrise de l'énergie

Compte tenue des ressources énergétiques très limitées de la Tunisie, une stratégie visant la réduction de la consommation énergétique nationale a été adoptée .La Loi -cadre août 2004 sur l'économie d'énergie oblige les sociétés de transport dont la consommation annuelle dépasse les 500 TEP à l'audit énergétique obligatoire et périodique (période 5 ans).De même qu'un plan d'actions concernant le secteur du transport a été adopté il vise essentiellement :

1. Promouvoir le transport public collectif urbain et inter-urbain :
 - Réaliser un programme pilote relatif à l'utilisation du gaz naturel comme carburant dans une centaine (100) de bus.

- Etendre le réseau du métro léger jusqu'à El Mourouj en 2008, La Manouba en 2009 et l'électrification de la ligne ferroviaire Tunis-Borj Cédria en 2009.
- Poursuivre la réalisation du plan directeur de transport par pipes des produits pétroliers et du gaz naturel.

2. Instaurer des Plans de Déplacement Urbains :

- Réduire la dépendance des citoyens vis-à-vis de la voiture (e-mail, new information technologies, e-trade, call center,...)
- Installation des équipements radar fixes de contrôle de la vitesse sur les routes principales.
- Généralisation de l'utilisation des ronds points giratoires.
- Exonération totale des taxes appliquées sur les bicyclettes et aménagement de pistes cyclables.

3. Encourager l'implantation des centrales de frets pour le transport de marchandises.

5. Conclusion

Le secteur du transport joue un rôle important dans notre économie. Il occupe une place cruciale dans la réalisation de nos objectifs et contribue d'une manière déterminante à l'amélioration de la qualité de la vie et la réduction de la pauvreté. Réduire les émissions polluantes des véhicules en appliquant des normes et en renforçant les contrôles périodiquement constitue un aspect important dans la réalisation d'un transport durable.

Références bibliographiques

- 1- M.HASSAIRI. The greenhouse gases generation in Tunisia: Analysis and Abatement
- 2- WREC VI 2000 ;2591-2594
- 3- Conférence Nationale Economie Energie TUNIS 12 FEVRIER 2008.
- 4- M.HASSAIRI Climate Change Policy in Tunisia: Implication for Energy Efficiency and
- 5- Renewable energies Tripoli 22 -24 MAI 2008

Conclusions et recommandations du colloque

« Environnement et transports dans des contextes différents »

Ghardaia, 16 – 18 Février 2009

Le colloque scientifique international 'Environnement et transports dans des contextes différents' (ETGHAR'09) s'est tenu les 16-18 février 2009 à Ghardaïa au siège de la Wilaya sous le haut patronage de son excellence Monsieur le Président de la République et en présence de Madame la Ministre déléguée chargée de la recherche scientifique et de Monsieur le wali de Ghardaïa. Il a connu un grand succès par non seulement la participation nationale et internationale mais aussi par l'important échange scientifiques entre chercheurs et les différentes perspectives de coopération initiées au niveau national, maghrébin et internationale.

Participation

Suite à l'appel à communications, les organisateurs ont reçu 202 propositions de communications. Après sélection par le conseil scientifique international, 26 communications orales et 59 posters ont été programmés. Seulement 17 communications orales et 24 Posters ont été présentés, suite au report du colloque prévu en octobre 2008, en raison des inondations qu'a connu la région et divers problèmes logistiques des participants : 110 personnes ont assisté au colloque, soit 63 algériens, 10 issus d'autres PED et 37 des pays du Nord. Le colloque a été l'occasion de débats et d'échange riches à l'occasion de chaque communication et notamment lors de la table ronde consacrée au développement de la recherche dans le domaine de transport et d'environnement.

Approche système

Les thèmes abordés ont touché l'économie des transports, les infrastructures, les impacts sur la santé et les écosystèmes, le lien environnement – développement, l'impact social – on retrouve le concept de DD - l'urbanisme, les politiques de transport, et les technologies de transport.

Cette pluralité des approches permet de prendre en compte l'articulation ou l'interconnexion des différents domaines, ce qui met en évidence la nécessité d'une approche système : le système transport – environnement. Cette approche permet la mise au point de solutions fiables. On se rappellera à contrario les agro carburants présentés comme solution parfaite et qui s'est avérée négative après considération de ses différentes implications environnementales, sociales et économiques.

Ainsi la recherche dans le domaine nécessite-t-elle une culture scientifique horizontale transport - environnement pluridisciplinaire couvrant notamment économie des transports, sociologie, sciences politiques, sciences de la vie, sciences de l'ingénieur et technologies. L'activité de recherche demande cependant une grande spécialisation s'appuyant sur cette culture transport – environnement.

Parallèlement à la formation disciplinaire classique, toujours indispensable, une formation sur le champ transport – environnement est nécessaire.

Cette formation peut être dispensée dans le cadre universitaire, et à travers des séminaires et colloques couvrant cette thématique.

Réseaux de recherche et coopération

Les chercheurs et les hommes du métier doivent initier et participer à des réseaux spécialisés, qui instituent, pour un coût relativement faible, d'excellents moyens d'optimisation des moyens de la recherche, notamment par la coordination, d'excellents moyens d'échange et de formation, ainsi que de diffusion des connaissances et des résultats. Ce peut être des réseaux de tout niveau, du régional à l'international.

La nécessité de mobiliser la communauté scientifique du pays dans le cadre du réseau thématique dans ce domaine s'impose dans un souci de regroupement des compétences et de rationalisation des moyens, ainsi que pour la diffusion des connaissances et des résultats des recherches menées à travers les différents laboratoires et institutions de recherche du pays.

Le colloque a été l'occasion de créer le RETA réseau environnement – transport algérien, et de présenter COST et les possibilités de développement de la recherche en réseau. Ceci pourrait être concrétisé par la participation à une action COST.

La recherche scientifique devrait déterminer les limites et benchmarks pour la protection de l'environnement et la santé publique qui seront utilisés par gestionnaires et décideurs.

Les échanges Nord -Sud et la mutualisation de connaissances, d'outils, de méthodes et de solutions sont nécessaires, mais doivent toujours être adaptés au contexte du pays ou de la région considérée. On ne peut acquérir du savoir faire sans compétence.

Ces échanges sont bénéfiques entre pays du sud et pays du nord, au sein des pays développés, comme au sein des pays industrialisés pour analyser les situations et être en mesure de relever les défis actuels et futurs dans le domaine transport – environnement.

**Réseau Thématique de Recherche Scientifique
Environnement et Transport Algérie**

RETA

COORDINATION NATIONALE

Note sur le Projet **RETA**

Dans le cadre de la mise en place de différents réseaux de recherche scientifique thématiques en Algérie, les secteurs des transports et de l'environnement représentent des secteurs horizontaux impliquant de nombreux intervenants de disciplines diverses, le ministère délégué à la recherche encourage l'initiation de réseau consacré à cette discipline devenue stratégique pour le développement du pays et avec toutes les incidences que peut générer sur l'économie, la société et l'environnement.

La nécessité de mobiliser la communauté scientifique du pays dans le cadre d'un réseau thématique dans ce domaine s'impose dans un souci de regroupement des compétences et de rationalisation des moyens, ainsi que pour la diffusion des connaissances et des résultats des recherches menées à travers les différents laboratoires et institutions de recherches du pays.

Les objectifs initiaux du réseau consistent à identifier les spécialistes algériens résidents et non résidents dans ce domaine et à promouvoir les échanges d'informations et de connaissances. Il s'agit aussi d'élaborer un programme scientifique à moyen terme afin d'éviter la dispersion des efforts. Le réseau doit enfin permettre d'identifier un portefeuille de projets de recherche ainsi que les mécanismes de leur financement. Compte tenu de la spécificité, le réseau permet aussi d'établir une interface active avec d'autres réseaux de recherches étrangers, notamment en Afrique et autour du bassin méditerranéen. Ce réseau est ouvert aux experts et spécialistes de tous les secteurs impliqués dans la recherche sur les transports et l'environnement.

Il est structuré par des points focaux nationaux et un comité de coordination constitué par les points focaux. Les points focaux sont représentés par deux personnes afin de prévenir la non disponibilité et absence du point focal principal.

Objectifs :

1. Elaboration d'un programme de travail du réseau pour les cinq années à venir.
2. Réalisation d'un annuaire de chercheurs et experts en transport et environnement
3. Développement d'un site Web du réseau RETA hébergée dans une institution universitaire avec des accès à d'autres réseaux dans le monde de même spécialité.
4. Organiser des rencontres scientifiques et développement de projet de recherche en commun
5. Elaboration d'un document scientifique et technique sur les transports et l'environnement en Algérie avec des analyses et des synthèses.
6. Contribution à l'élaboration d'un portefeuille de projets et élaborer des propositions aux PNR.
7. Encouragement et soutien au développement de projets communs entre les membres du réseau.

Fiche d'Adhésion
Réseau Environnement et Transport Algérie
RETA

Nom, prénom:.....

Spécialité:.....

Institution:

Fonction:.....

Tél:.....Fax:.....e-mail:.....

Activités: Centre de recherche Laboratoire universitaire Bureau d'études Industrie

Administration: Locale Régionale Nationale Organisation Non Gouvernementale:

Autres, préciser:.....

Domaine d'intérêt:

Transport :

Terrestre Ferroviaire Aérien Maritime Autres :

Impact des transports sur l'environnement:

Effet sur la santé Dispersion et Modélisation Mesure de la qualité de l'air Effet de serre

Emission de polluants: Caractéristiques du trafic Facteur d'émission Inventaire

Solution:

Technologie véhicule Carburant Gestion du trafic Politique de transport Réglementation

Description succincte de l'activité

actuelle:.....

Quelles formes de contacts et d'échanges souhaiteriez-vous avoir dans ce réseau:.....

Chaque membre du réseau recevra un code d'accès au site web du réseau et accéder à la base de données relative à tous les membres du réseau ainsi qu'aux documents et informations sur les activités du réseau.

J'autorise les gestionnaires du réseau à diffuser les informations me concernant: oui non

Fiche à retourner par fax ou courrier (postal ou électronique) au coordonnateur national du réseau.

Dr Ménouèr BOUGHEDAQUI
Université de Blida
Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département de chimie industrielle
Route Soumaa BP 270 – 09000 Blida
(boughedaoui@wissal.dz)

Scientific Committee

Chairman: Robert Joumard	INRETS, France
Noredidine Ait Messaouedene	Univ. Blida, Algeria
Hocine Ali Khodja	Univ. Constantine, Algeria
Jamal Alibou	EHTP, Morocco
Michel André	INRETS, France
Gerassimos Arapis	Agricultural Univ. of Athens, Greece
Djibo Boubacar	Univ. Québec à Montréal, Canada
Mireille Chiron	INRETS, France
Asif Faiz	The World Bank, Sudan
Henrik Gudmundsson	Danish Transport Res. Inst., Denmark
Lutz Katzschner	Univ. Kassel, Germany
Rabah Kerbachi	ENP, Algeria
Ali Hatem Laatar	Univ. Bizerte, Tunisia
Tamás Merétei	KTI, Hungary
Jean-Noël Poda	IRSS / CNRST, Burkina Faso
Suzana K. Ribeiro	Federal Univ. Rio de Janeiro, Brasil
Åke Sjödin	Swedish Env. Res. Inst., Sweden
Peter Sturm	Technical Univ. Graz, Austria
Patrick Wäger	EMPA, Switzerland

Sponsored by / Sponsorisé par



Publisher: Ecole Nationale Polytechnique, Alger.

Printed in Algiers by Impression Moderne, 2009

February 2009, 400 Copies