



## Deux- et trois-roues

### Module 4c

Le transport durable :

Un livre ressource à l'intention des décideurs des villes en développement

## Présentation du Livre ressource

### Le transport durable : un guide pour les décideurs des villes en développement

#### Quels sont les thèmes abordés par ce Livre ressource ?

Ce *Livre ressource* sur le transport urbain durable traite des thématiques-clés intervenant dans l'élaboration des politiques-cadres en matière de transports durables dans les villes en développement. Le *Livre ressource* se compose de plus de 31 modules en langue anglaise mentionnés sur la page suivante, dont sept sont aussi parus en langue française. Il est également complété par une série de documents de formation ainsi que par d'autres supports disponibles sur le site <http://www.sutp.org> (<http://www.sutp.cn> pour les utilisateurs chinois).

#### A qui est-il destiné ?

Ce *Livre ressource* est destiné aux décideurs des villes en développement et à leurs conseillers. Il leur fournit des outils stratégiques potentiellement utilisables dans un grand nombre de villes en développement. Le secteur académique (universités p. ex.) peut également bénéficier de cet outil.

#### Comment peut-il être exploité ?

Ce *Livre ressource* peut être utilisé de plusieurs façons. Il peut être imprimé et mis à disposition des décideurs concernés par la thématique du transport urbain. Il peut également être facilement adapté afin de servir de base à des formations courtes, ou encore orienter l'élaboration de programmes d'études ou tout autre programme de formation dans le domaine des transports urbains. La GIZ continue par ailleurs à fournir des formules de formation centrées sur des modules spécifiques ; cette offre est disponible depuis octobre 2004 sur le site <http://www.sutp.org> (<http://www.sutp.cn> pour les utilisateurs chinois).

#### Quelles en sont les caractéristiques clés ?

Les principales caractéristiques de ce *Livre ressource* incluent :

- Une orientation pratique, mettant l'accent sur les meilleures pratiques en matière de planification et de régulation, avec dans certains cas, des exemples d'expériences réussies dans des villes en développement ;

- Des contributeurs experts dans leur domaine ;
- Une mise en page en couleur, attrayante, et une lecture facile ;
- Un vocabulaire accessible à un public non initié (dans la mesure du possible), avec une explication des termes techniques ;
- Une mise à jour via internet.

#### Comment puis-je en obtenir une copie ?

Les versions digitales (PDF) des modules sont disponibles à l'adresse <http://www.sutp.org> (<http://www.sutp.cn> pour les utilisateurs chinois). En raison de la mise à jour de tous les modules, les versions papier de l'édition en langue anglaise ne sont plus disponibles. Une version imprimée en langue chinoise des 20 premiers modules est vendue en Chine par Communication Press, et une compilation de modules sélectionnés est vendue par McMillan-Inde en Asie du Sud. Toutes les questions relatives à l'utilisation des modules peuvent être envoyées à l'adresse [sutp@sutp.org](mailto:sutp@sutp.org) ou [transport@giz.de](mailto:transport@giz.de).

#### Commentaires ou suggestions ?

Nous serions heureux de recevoir tout commentaire ou suggestion, portant sur l'un ou l'autre des aspects de ce *Livre ressource*, par e-mail à [sutp@sutp.org](mailto:sutp@sutp.org) ou [transport@giz.de](mailto:transport@giz.de), ou par courrier à l'adresse suivante :

Manfred Breithaupt  
GIZ, Division 44,  
P. O. Box 5180  
65726 Eschborn, Allemagne

#### Autres modules et ressources

L'édition d'autres modules est prévue. Des ressources supplémentaires sont en cours d'élaboration, et un DVD de photos est disponible (quelques photos ont été mises en ligne sur le site internet <http://www.sutp.org> – section Photos). Le lecteur pourra également trouver par ce biais une série de références bibliographiques, des liens pertinents, ainsi que plus de 400 documents et présentations.

## Modules et auteurs scientifiques

- (i) *Aperçu du Livre ressource et questions transversales relatives au transport urbain* (GTZ)

### Orientation institutionnelle et stratégique

- 1a. *Le rôle des transports dans la politique d'aménagement urbain* (Enrique Peñalosa) [•]  
1b. *Les Institutions du transport urbain* (Richard Meakin)  
1c. *La participation du secteur privé à l'infrastructure de transport* (Christopher Zegras, MIT)  
1d. *Les instruments économiques* (Manfred Breithaupt, GTZ)  
1e. *Sensibilisation du public au transport urbain durable* (Karl Fjellstrom, Carlos F. Pardo, GTZ)  
1f. *Financement du transport urbain durable* (Ko Sakamoto, TRL) [•]  
1g. *Le fret urbain dans les villes en voie de développement* (Bernhard O. Herzog)

### L'aménagement du territoire et la gestion de la demande

- 2a. *Aménagement du territoire et transports urbains* (Rudolf Petersen, Wuppertal Institute)  
2b. *Gestion de la mobilité* (Todd Litman, VTPI)  
2c. *Gestion du stationnement : une contribution vers des villes plus agréables* (Tom Rye) [•]

### Le transit, la marche et le cyclisme

- 3a. *Options de transports de masse* (Lloyd Wright, ITDP ; Karl Fjellstrom, GTZ)  
3b. *Bus Rapid Transit – BRT* (Lloyd Wright, ITDP)  
3c. *Régulation et planification du transport par bus* (Richard Meakin)  
3d. *Préservation et élargissement du rôle des transports non motorisés* (Walter Hook, ITDP)  
3e. *Le développement urbain sans voitures* (Lloyd Wright, ITDP)

### Les véhicules et les carburants

- 4a. *Carburants plus propres et technologies des véhicules* (Michael Walsh ; Reinhard Kolke, Umweltbundesamt – UBA)  
4b. *Inspection, entretien et état technique* (Reinhard Kolke, UBA) [•]  
4c. *Deux- et trois-roues* (Jitendra Shah, Banque mondiale ; NV Iyer, Bajaj Auto) [•]  
4d. *Véhicules au gaz naturel* (MVV InnoTec)  
4e. *Systèmes de transport intelligents* (Phil Sayeg, TRA, Phil Charles, University of Queensland)  
4f. *ÉcoConduite* (VTL ; Manfred Breithaupt, Oliver Eberz, GTZ)

### L'environnement et l'impact sur la santé

- 5a. *Gestion de la qualité de l'air* (Dietrich Schwela, Organisation mondiale de la Santé) [•]  
5b. *La sécurité routière urbaine* (John Fletcher, TRL ; Jacqueline Lacroix, DVR ; David Silcock, le GRSP) [•]  
5c. *Diminuer les nuisances sonores* (Civic Bourse de Hong Kong, la GTZ ; UBA)  
5d. *Le Mécanisme de Développement Propre – CDM – dans le secteur des transports* (Jürg M. Grütter)  
5e. *Transports et changement climatique* (Holger Dalkmann ; Charlotte Brannigan, C4S)  
5f. *Adapter le transport urbain au changement climatique* (Urda Eichhorst, Wuppertal Institute)  
5g. *Transport urbain et santé* (Carlos Dora, Jamie Hosking, Pierpaolo Mudu, Elaine Ruth Fletcher)  
5h. *Transport urbain et efficacité énergétique* (Susanne Böehler, Hanna Hüging)

### Les ressources

6. *Ressources à l'usage des décideurs* (GTZ)

### Questions sociales et transversales dans les transports urbains

- 7a. *Genre et transports : intelligent et abordable* (Mika Kunieda ; Aimée Gauthier)

[•] = paru en français

## Concernant les collaborateurs

**N. V. Iyer** : Diplômé en ingénierie mécanique, il a fait des études post-universitaires à l'Indian Institute of Petroleum en 1965. Il a ensuite suivi une formation de recherche spéciale à l'Institut Français du Pétrole en 1969. Les premières treize années d'expériences professionnelles de M. Iyer étaient dédiées à la recherche & développement appliquée à l'usage des carburants et lubrifiants dans les moteurs à combustion interne et à l'analyse des émissions des véhicules d'abord à l'Indian Institute of Petroleum, puis plus tard à l'Indian Oil Corporation's Research & Development Center. Par la suite, il a rejoint le secteur de l'industrie automobile indienne où il travaille depuis maintenant 24 ans, toujours dans le domaine de la recherche & développement principalement. Au cours des 16 dernières années, M. Iyer s'est plus spécialisé dans les véhicules à deux et trois roues. Il préside actuellement le sous-comité technique en charge des véhicules à deux et trois roues au sein de la Société des constructeurs automobiles indiens. Actuellement M. Iyer travaille en collaboration avec Bajaj Auto Ltd à Pune en Inde en tant que conseiller technique.

**D<sup>r</sup> Jitendra Shah** a complété en 1976 sa formation en ingénierie mécanique en 1976, avant d'obtenir un doctorat en Sciences de l'environnement à l'Oregon Graduate Center et un MBA à Portland State University en 1991. D<sup>r</sup> Shah possède plus de 25 années d'expérience dans la recherche et gestion de projets aux États-Unis et à l'international. Depuis 1991, il travaille à la Banque mondiale en tant qu'ingénieur principal en charge de l'environnement, et s'occupe actuellement de suivre des projets allant de la conceptualisation à la réalisation de programmes régionaux sur la qualité de l'air, implémentés en réponse aux problèmes des pluies acides et aux dysfonctionnements de la gestion de la qualité de l'air en milieu urbain. Il gère certains des projets d'investissement environnementaux qui traitent de la protection du trou dans la couche d'ozone et du changement climatique en Asie du Sud. D<sup>r</sup> Shah contribue aussi à l'évaluation de l'impact environnemental des projets financés par la Banque.

## Remerciements

La révision du document original publié en 2002 a été effectuée par M. **N.V. Iyer** début 2009. Les éditeurs le remercient chaleureusement pour son travail.

Le module s'appuie essentiellement sur: **Masami Kojima, Carter Brandon & Jitendra Shah**, Improving Urban Air Quality in South Asia by Reducing Emissions from Two-Stroke Engine Vehicles, The World Bank, Décembre 2000, <http://www.worldbank.org/html/fpd/esmap/publication/airquality.html>. Sauf mention contraire, le texte de la Section 3 est tiré de cette publication, après adaptation/mise à jour et ajout de contenu par **N. V. Iyer** and **Jitendra Shah**.

Le Chapitre 3.8 est une contribution du **D<sup>r</sup> Christopher Cherry**, Professeur Assistant au département d'Ingénierie Civile de l'Université du Tennessee à Knoxville. Il est basé sur son étude sponsorisée par Clean Air Initiative – Asia, le Center for Future Urban Transport de la UC Berkeley – A Volvo Center of Excellence et la National Science Foundation.

## Module 4c

# Deux- et trois-roues

### *Avis de non-responsabilité*

Les résultats, les interprétations et les conclusions exprimés dans ce document proviennent des informations accumulées de sources fiables par la GIZ et ses consultants, partenaires et collaborateurs. La GIZ ne garantit pas le caractère exact ou exhaustif des informations comprises dans ce document et ne peut être tenue responsable pour d'éventuelles erreurs, omissions ou pertes qui résulteraient de son utilisation.

**Auteurs\*** : Jitendra Shah (The World Bank) et  
N. V. Iyer (Bajaj Auto Ltd)  
D<sup>r</sup> Christopher Cherry

**Éditeur** : Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
P. O. Box 5180  
65726 Eschborn, Allemagne  
<http://www.giz.de>

Division 44 – Eau, Energie, Transport  
Projet sectoriel « Conseils en matière  
de politique des transports »

Mandaté par :  
Ministère fédéral de la Coopération économique  
et du Développement (BMZ)  
Division 313 – Eau, Energie,  
Développement Urbain  
P. O. Box 12 03 22  
53045 Bonn, Allemagne

Friedrich-Ebert-Allee 40  
53113 Bonn, Allemagne  
<http://www.bmz.de>

**Gérant** : Manfred Breithaupt

**Montage** : Manfred Breithaupt, Karl Fjellstrom\*, Stefan  
Opitz, Jan Schwaab

**Photo de**

**couverture** : Karl Fjellstrom  
Ho Chi Minh, Viêt Nam, janvier 2002

**Traduction** : Cette traduction a été effectuée par MM. Tran-  
sitec, Lausanne/Suisse. La GIZ ne saurait être  
tenue responsable pour d'éventuelles erreurs,  
omissions ou pertes qui résulteraient de son  
utilisation.

**Mise en pages** : Klaus Neumann, SDS, G.C.

**Édition** : Ce module fait partie du Livre ressource de la  
GIZ sur les Transports Urbains Durables pour les  
décideurs des villes en développement.

Eschborn 2002 (révisé en avril 2009)  
(Traduction de mai 2013)

## Copyright

Cette publication peut être reproduite partiellement ou en totalité dans un but éducatif et/ou non lucratif sans permission spéciale du titulaire du droit d'auteur pourvu que la source soit mentionnée. La GIZ apprécierait de recevoir une copie de toute publication qui mentionne ce document comme source. L'utilisation à but lucratif et/ou commercial n'est en aucun cas autorisée.

Cette publication présente les activités de la GTZ avant 2011. Suite à la fusion de la GTZ avec le DED (Service Allemand du Développement) et la InWEnt (Capacity Building International, Germany), l'entreprise s'appelle maintenant la GIZ.

---

## Table des matières

---

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Les véhicules à deux et trois-roues et les systèmes de transport urbain</b>	<b>1</b>
2.1	Les deux et trois-roues dans les villes asiatiques en développement	1
2.2	Problématiques de transport public	4
2.3	Questions relatives à la sécurité routière	6
<b>3</b>	<b>Le problème des émissions des moteurs à deux temps</b>	<b>7</b>
3.1	Types d'émissions	10
3.2	Les facteurs aggravant les émissions	12
3.3	L'impact des émissions	14
3.4	Réduction des émissions des véhicules à moteurs à deux temps	15
3.5	Les alternatives aux moteurs essence à deux temps	23
3.6	Les options politiques	31
3.7	Les orientations futures	42
3.8	Vélos électriques – impact d'une réglementation sur la mobilité et l'environnement	43
<b>4</b>	<b>D'autres références</b>	<b>48</b>
4.1	Références citées dans le texte	48
4.2	Ressources Internet	50

## 1 Introduction

Le présent module portera essentiellement sur les villes asiatiques en développement, le parc des véhicules à deux et trois roues – ainsi que les défis associés – étant nettement plus grand en Asie que dans les autres pays en développement.

La problématique des véhicules à deux et trois roues peut être abordée selon deux grandes considérations. La première porte sur les problèmes structurants auxquels font face les systèmes de transport dans les villes présentant des parts importantes de déplacements s'effectuant par des motocyclettes. Ces villes incluent par exemple Delhi, Hanoi, Ho Chi Minh Ville, Dhaka, Denpasar et, à des degrés divers, de nombreuses autres villes asiatiques en développement. Ce module soulève des questions essentielles dans ce sens, mais n'aborde pas en détail les orientations politiques.

La deuxième grande considération porte, elle, sur l'évaluation de la qualité de l'air dans les villes avec une part importante de véhicules à deux ou trois roues. Les émissions des moteurs des deux et trois-roues représentent, au moins pour les court et moyen termes, le problème le plus grave des villes en développement concernées. Traiter des options politiques à recommander pour ces villes est l'objet de ce module.

Plusieurs sections de ce module sont précédées par un encadré qui présente les recommandations principales préconisées par un important atelier de travail régional qui a eu lieu récemment (2001), et qui a porté sur la réduction des émissions des moteurs des deux et trois-roues. Les documents de cet atelier peuvent être téléchargés sur le site web listé dans la section Références.

## 2 Les véhicules à deux et trois-roues et les systèmes de transport urbain

Initier une discussion approfondie sur les problématiques des systèmes de transport inhérentes aux deux et trois-roues dépasse la portée du présent module. Dans cette section, certaines des questions clés sont abordées.

### 2.1 Les deux et trois-roues dans les villes asiatiques en développement

Les véhicules à deux roues dans les villes asiatiques incluent les mobylettes, les scooters, et les motocyclettes. Ils sont utilisés principalement pour le transport individuel ; bien qu'à Bangkok et dans certaines autres villes – y compris au Viêt Nam et en Indonésie – les motocyclettes sont également utilisées pour le transport public ou pour le transport adapté. Les véhicules à trois roues en Asie incluent les petits taxis tels que les pousse-pousse en Inde et au Sri Lanka, les bébé-taxis au Bangladesh et les tuk-tuks en Thaïlande – habituellement utilisés pour transporter trois passagers ; ainsi que les véhicules de plus grande taille tels que les tempos au Bangladesh, au Népal et dans certaines parties de l'Inde, et qui, eux, peuvent transporter jusqu'à une douzaine de passagers. Une

grande proportion des deux-roues motorisés sont des véhicules propulsés par des moteurs essence à deux temps, bien que ces dernières années, on ait noté un accroissement considérable des deux-roues propulsés par des moteurs essence à quatre temps. Pour ce qui est des trois-roues, la majorité est propulsée par des moteurs essence à deux temps, mais il en existe néanmoins qui sont propulsés par des petits moteurs diesel. Une petite proportion des trois-roues utilise le GPL ou le CNG (comme c'est le cas en Inde et en Thaïlande).

---

**Le Viêt Nam, la Thaïlande et l'Indonésie, enregistrent, chacun, des ventes de motocyclettes de plus d'un million d'unités par an, et la motocyclette est considérée comme le moyen de transport familial dans la région.**

---

*Autoasia Magazine, octobre 2002, p. 5*

---

Les deux et trois-roues jouent un rôle essentiel dans le marché du transport en Asie. L'Inde, la

**Fig. 1**  
*Enregistrements des véhicules à deux roues en Asie et en Australie.*

La Fédération Routière Internationale, Statistiques Routières Mondiales 2009

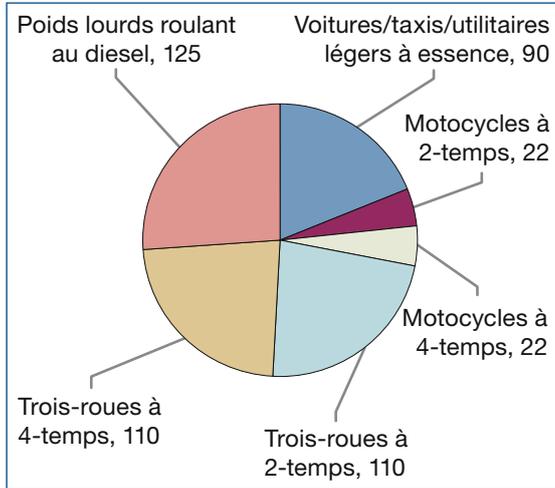


Chine, le Viêt Nam et l'Indonésie possèdent un grand nombre de véhicules à deux roues, qui sont employés principalement pour le transport individuel (voir la Figure 1). Les véhicules à trois roues sont utilisés principalement comme taxis sur des courtes distances. Certaines familles au Sri Lanka ont acheté des trois-roues pour leur usage privé,

attirés par leur prix plus bas relativement aux voitures particulières. En Chine, en Thaïlande et en Malaisie les deux-roues constituent plus de la moitié du parc de véhicules motorisés ; en Indonésie, au Viêt Nam et à Taiwan (Chine) la proportion dépasse les deux tiers du parc. La Figure 2 illustre la dominance des deux et trois-roues dans le parc

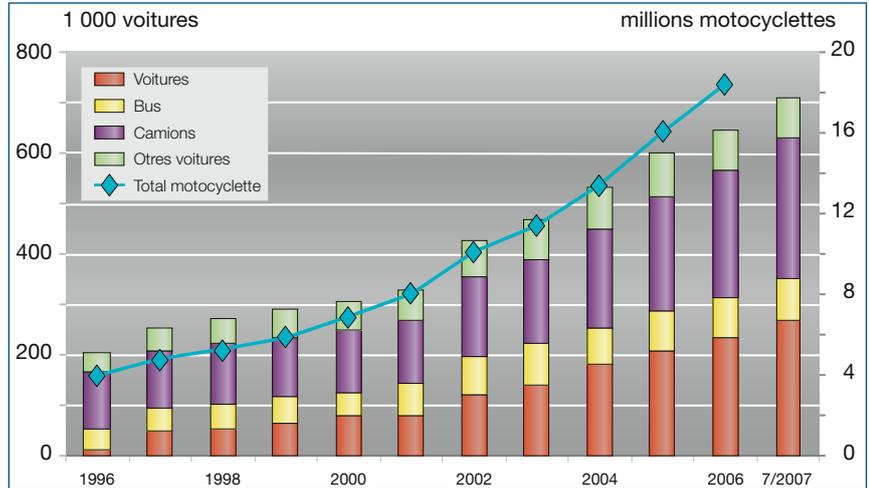
**a. Usage des véhicules à moteur à Dhaka (km/jour)**

Walsh, 2001, de la Banque mondiale, Analyse du Transport Urbain & et de la Stratégie EIP (non daté)



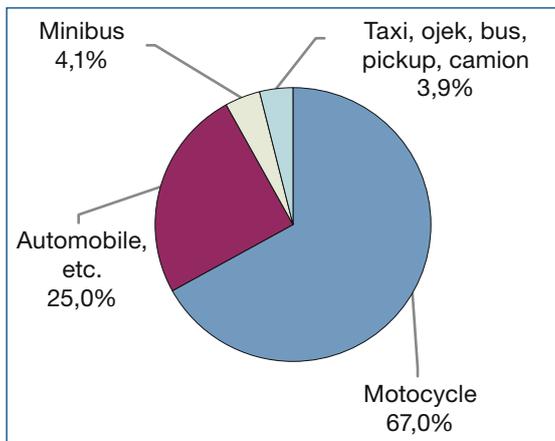
**b. Nombre de véhicules au Viêt Nam, 1996–2007**

Dr Nguyen Van Tai, « EST Achievements, Progress and Future Strategies », Quatrième Forum du Transport Écologiquement Durable, Centre des Nations Unies pour le Développement régional, Séoul, la Corée du Sud, 24 à 26 février 2009, <http://www.uncrd.or.jp>



**c. Déplacements par mode, Denpasar, Bali**

BUIP, 1999



**d. Parc automobile à Delhi**

Walsh, 2001 de Sengupta, décembre 2000

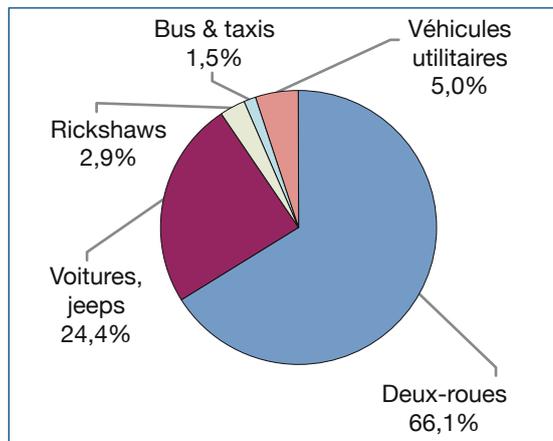


Fig. 2a, b, c, d  
Divers indicateurs illustrant l'importance des véhicules à deux et trois roues dans des villes choisies.

de véhicules de Dhaka (Bangladesh), Ho Chi Minh Ville (Viêt Nam), Denpasar (Indonésie), et Delhi (Inde). Cependant, et comme illustré dans la Figure 3, il n'existe pas toujours de correspondance entre le nombre de véhicules enregistrés et ceux réellement en circulation ; il est important donc de disposer de données fiables pour l'analyse.

Les taxis à trois roues sont perçus comme étant moins conformes à la réglementation de la circulation et plus susceptibles d'être engagés dans des accidents comparativement aux véhicules à quatre roues.

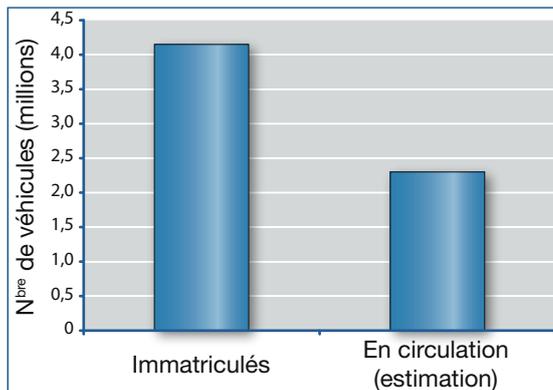
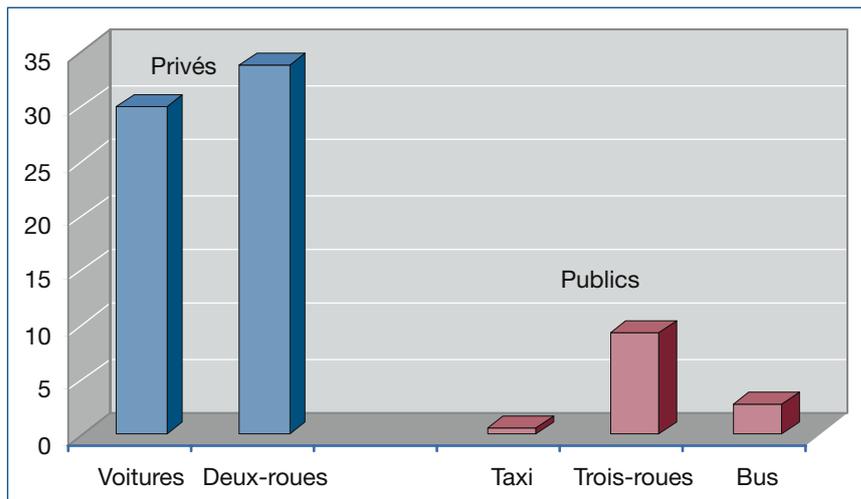


Fig. 3  
Données tirées des enregistrements vs. données issues du terrain à Bangkok.

Shah, 2001



**Fig. 4**  
*Répartitions modales pour les transports publics et privés à Delhi, en millions de véhicules par km par jour.*

Gouvernement Indien, 2002, [http://www.petroleum.nic.in/afp\\_con.htm](http://www.petroleum.nic.in/afp_con.htm).

Note: l'année correspondant à ces données n'est pas mentionnée, et devrait être considérée comme approximative.

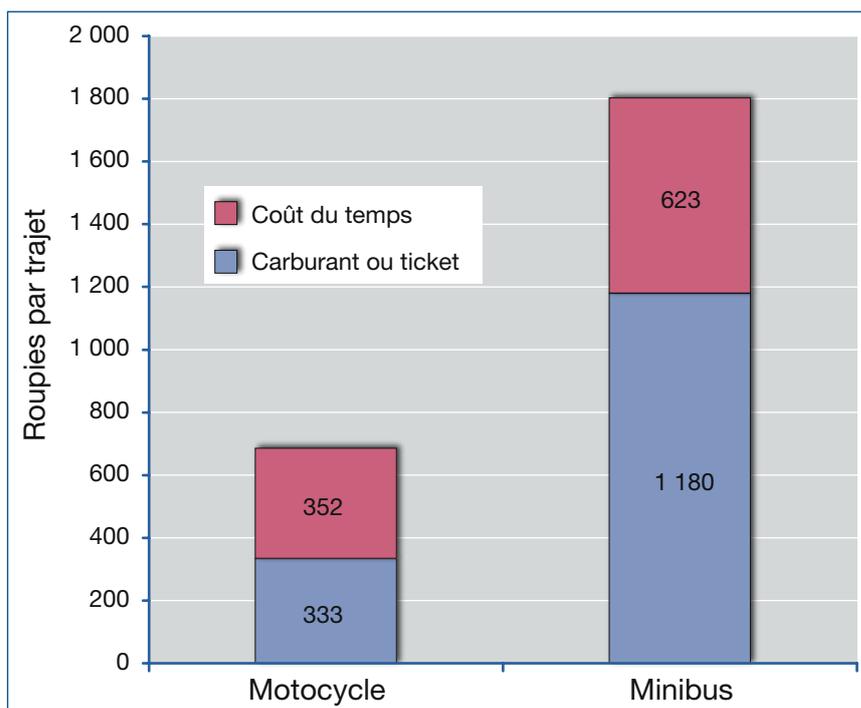
Ils sont aussi plus visibles en raison de leurs grands nombres, et contribuent à la congestion et à la pollution. Pour ces raisons, il existe un fort ressentiment dans certains pays, notamment au Bangladesh, contre les véhicules à trois roues propulsés par des moteurs à deux temps.

Un comité d'experts désigné par le Gouvernement de l'Inde a effectué récemment une étude du trafic routier urbain combinée à une évaluation de la pollution de l'air dans les principales villes indiennes. L'étude inclut également une évaluation des parts modales de différents modes de transport dans ces villes (Gouvernement indien, août 2002, [http://www.petroleum.nic.in/afp\\_con.htm](http://www.petroleum.nic.in/afp_con.htm)). Les conclusions de cette étude concernant la ville de Delhi – enregistrant la plus grande population de véhicules à moteur dans le pays (avec plus de 3,5 millions de véhicules immatriculés) et faisant partie des villes les plus polluées au monde – sont indiquées dans la Figure 4.

La Figure 4 montre que les deux-roues assurent plus de la moitié des déplacements individuels, tandis que les trois-roues détiennent la part du lion dans le transport en commun dans la ville. La part des autobus en comparaison est insignifiante.

**Fig. 5**  
*Comparaison des coûts pour un voyage typique de 8 km à Denpasar.*

BUIP, 1999



## 2.2 Problématiques de transport public

En général, dans les villes asiatiques en développement, les motos offrent un mode de déplacement significativement plus rapide et peu coûteux par rapport aux transports publics. De plus, et en raison du déficit d'attractivité des services de transports publics, les gens ont tendance à se reporter sur les motocyclettes, en dépit des inconvénients liés à l'exposition au soleil et à la pluie (spécialement pendant la saison humide), et le risque d'accident sensiblement plus élevé par rapport aux transports publics.

La structure des coûts, comme indiqué dans la Figure 5 et le Tableau 1 pour un voyage typique de 8 km à Denpasar, Bali, conjuguée à un faible niveau de service offert par les minibus et microbus publics, ont entraîné une part modale du transport public inférieure à 5 %. Des situations similaires s'appliquent dans d'autres villes acquises à l'usage des deux-roues motorisés, telles que Hanoi et Ho Chi Minh Ville, où moins que 5 % des voyages sont effectués par les bus.

À court terme, le fort recours à l'usage des motocyclettes pourrait ne pas être considéré comme un problème. Après tout, la motocyclette est un des modes les plus efficaces en termes d'occupation de l'espace routier, avec un taux d'occupation moyen dans de nombreuses villes asiatiques autour de 1,5 personne ; soit à peine moins que celui observé pour les voitures dans une ville telle que Surabaya. Le TERI (1993) a en effet rapporté que l'occupation moyenne des motocyclettes dans les villes indiennes est de 1,5 passagers, et que celle des voitures gravite autour de 2,6. Cependant, à moyen et long terme, une situation de dépendance aux motocyclettes peut conduire à un encombrement intolérable sur les routes et à des niveaux de pollution insoutenables. De telles tendances, clairement non conformes aux principes de durabilité, s'installent avec l'augmentation des taux de motorisation qui accompagne en général l'augmentation des niveaux de revenus de la société.

**Perspectives pour une ville acquise aux motocyclettes**

Les analyses prospectives faites pour Denpasar à Bali par une étude financée par la Banque mondiale en 1999 stipulent que le modèle des « villes à motocyclettes » ne semble pas converger vers un modèle soutenable. L'étude a simulé les futurs niveaux et schémas de la demande en déplacements en se basant sur un outil de modélisation de la planification du transport public, développé dans le cadre même de l'étude (BUIP, 1999).

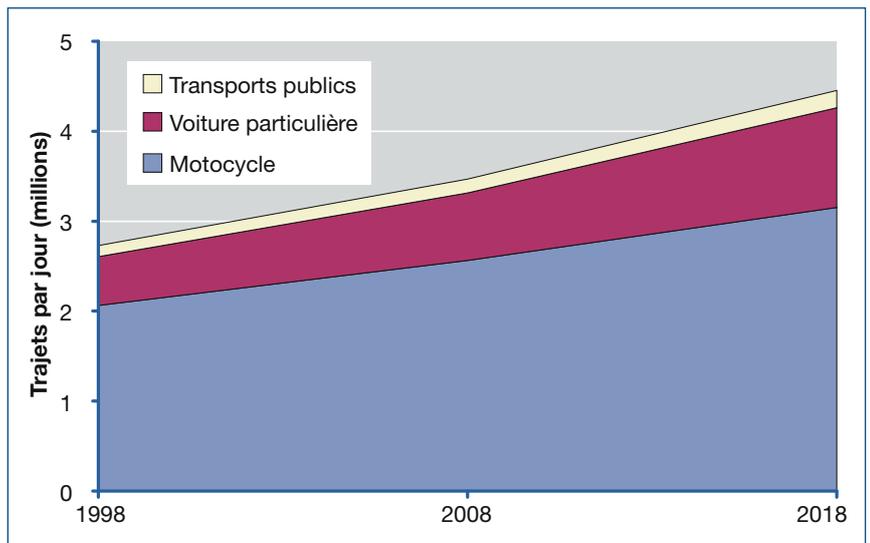
Selon les prévisions, le nombre de motocyclettes devrait augmenter avec un taux de croissance modeste de 2,8 % par an entre 1998 et 2018 ; le nombre de voitures de 5,2 % par an. Ainsi, en 2018, il y aurait 72 % plus de motocycles et 173 % plus de voitures sur les routes. En outre, toujours entre 1998 et 2018, le nombre de motocyclettes par personne devrait passer de 0,32 à 0,34, et le nombre de voitures de 0,07 à 0,12 par personne ; en cohérence avec l'augmentation prévue des revenus des ménages.

En l'absence donc d'une politique visant à modifier l'équilibre entre transport individuel et transport public, la part des motocyclettes dans les déplacements

**Tableau 1 : Comparaison des coûts pour un trajet typique de 8 km à Denpasar, Indonésie (Roupie par passager)**

Poste de coût	Motocycles	Microbus	Taux Bus/MC
Carburant ou prix du billet (Rp)	333,0	1 180,0	3,5
Temps (min)	19,2	34,0	1,8
Coût en temps (Rp)	352,0	623,0	1,8
Coût total du voyage (Rp équiv.)	685,0	1 803,0	2,6

BUIP, 1999



quotidiens passera de 75,6 % à 70,8 %, celle des voitures augmentera de 19,9 % à 24,9 %, et la part du transport public continuera autour de son niveau actuel très bas (Figure 6 et Tableau 2).

Les implications sont claires : même dans la configuration où l'ensemble du réseau planifié à 2018 est achevé et construit, de sérieux problèmes de congestion des routes et de détérioration de

**Fig. 6**  
*Prévisions de répartition modale (pour les déplacements motorisés) à Denpasar, Bali, 1998–2018.*

BUIP, 1999

**Tableau 2 : Déplacements par jour et répartition modale à Denpasar, 1998, 2008 et 2018**

Mode	1998		2008		2018	
	Trajets quotidiens	%	Trajets quotidiens	%	Trajets quotidiens	%
<b>Motocycle</b>	2 062 452	75,6 %	2 562 464	73,9 %	3 151 977	70,8 %
<b>Voiture</b>	542 886	19,9 %	752 669	21,7 %	1 107 788	24,9 %
<b>Transport public</b>	123 850	4,5 %	154 027	4,4 %	194 626	4,4 %
<b>Total</b>	<b>2 729 188</b>	<b>100,0 %</b>	<b>3 469 160</b>	<b>100,0 %</b>	<b>4 454 391</b>	<b>100,0 %</b>

BUIP, 1999

l'environnement resteront posés. Ces problèmes surgiront de plus au niveau des zones bâties les plus vulnérables, également les moins à même de les gérer efficacement ; à savoir le centre historique de Denpasar et ses banlieues résidentielles.

Au-delà des implications négatives liées à l'augmentation de la dépendance aux véhicules à moteur dans les villes denses du monde en développement, on peut également prédire que la prédominance des motocyclettes sera favorable à une dispersion des activités au niveau urbain ; ce qui est de nature à miner tout potentiel pour un futur système de transport public performant et viable.

Le rôle et l'importance des véhicules à deux et trois-roues comme modes principaux de déplacement dans de nombreuses villes asiatiques a été soulevé au cours d'un événement organisé en amont de l'Atelier « Better air quality », tenu à Bangkok du 12 au 14 septembre 2008. Les discussions ont mis en évidence les recommandations suivantes (<http://www.baq2008.org>) :

1. Les véhicules à deux et trois-roues doivent être reconnus comme des modes incontournables du transport urbain, aujourd'hui et dans un avenir proche;
2. Pour améliorer l'efficacité globale du système de transport, des mesures doivent être prises pour :
  - Améliorer l'efficacité opérationnelle de ces moyens de transport, par une ingénierie routière et un aménagement rationalisés, avec une référence particulière à la conception et à l'aménagement des intersections, à la hiérarchisation des routes, et à la classification des véhicules pour un meilleur accès à la mobilité ;
  - Améliorer l'efficacité énergétique de ces véhicules et réduire leurs émissions de polluants au travers d'améliorations technologiques progressives.
3. Dans les zones urbaines, on aurait intérêt à les préférer aux grands véhicules motorisés, mais ils ne devraient en aucun cas remplacer les modes non motorisés ;
4. Les véhicules à trois-roues nécessitent d'être promus comme mode de transport assurant « la connectivité du dernier kilomètre » au système de transport urbain.



### 2.3 Questions relatives à la sécurité routière

La multiplication des motocycles dans les systèmes de transport des villes en développement suscite de sérieux questionnements quant à la sécurité sur la route ; au moins relativement à deux aspects :

- Les motocyclettes ont tendance à chasser les cyclistes hors de l'espace de circulation ; au sens propre comme au sens figuré. Plus concrètement, dans une ville comme Ho Chi Minh, mais aussi dans d'autres villes d'Asie à des degrés différents, la croissance rapide des motocyclettes a coïncidé avec le déclin tout aussi rapide des vélos. Ceci

Fig. 7

*Les bicyclettes traditionnelles sont de plus en plus « chassées » du système de transport dans les villes acquises à l'usage des motocyclettes, car les conditions de circulation pour les cyclistes se détériorent avec la croissance des motocyclettes.*

Karl Fjellstrom, Ho Chi Minh, janvier 2002

peut être raisonnablement imputé, du moins en partie, à la présence des motocyclettes, et au fait que les cyclistes encourent plus de risque de chute en cas de collision avec un motocycliste (voir la Figure 7).

- En cas d'accident, les motocyclistes disposent de très peu de protection, et c'est d'autant plus le cas dans les villes en développement en Asie où les normes de sécurité routière restent souvent non respectées (voir la note en marge de la page suivante). Au Viêt Nam par exemple, près de 1 000 personnes sont tuées chaque mois dans des accidents de la circulation ; la grande majorité d'entre

eux sont des motocyclistes. Les accidents de la route représentent 96,8 % des accidents au Viêt Nam (« Road Toll Careers Toward Last Year's Nightmare High », *Viêt Nam News*, 30 octobre 2002). Certaines mesures ont été prises par les autorités vietnamiennes afin de sensibiliser les conducteurs de motocyclettes au respect du code de la route et à l'importance du port de casque. Cela a contribué à réduire le nombre d'accidents et des cas de blessures graves. Le nombre de tués par contre est, quant à lui, resté stable ; aux alentours de 12 000 par an les dernières années et aux environs de 10 000 par an en 2008 (Tai, 2009).

### 3 Le problème des émissions des moteurs à deux temps

La qualité de l'air est en détérioration permanente dans les villes asiatiques en développement ; ceci est une sous-conséquence directe de l'urbanisation rapide. L'expérience de l'Asie de Sud est typique dans la région. Sur un total de 1,3 milliards d'habitants vivant au Bangladesh, au Bhoutan, en Inde, au Népal, au Pakistan, et au Sri Lanka en 1998, 350 millions – soit 27 % des populations combinées – vivaient dans des zones urbaines. La croissance moyenne de la population des centres urbains – 3,2 % par an entre 1990 et 1998 – a été plus élevée que le taux de croissance global de 1,3 % de la population toute entière.

Une des causes majeures de la pollution atmosphérique est liée aux émissions du parc en constante augmentation des véhicules à moteur. En Inde, le nombre de véhicules immatriculés a triplé tous les 10 ans, pour passer de près de 10 millions en 1986 à presque 30 millions en 1996, et à plus de 90 millions en 2007. Ce nombre à la hausse a été observé avec les mêmes tendances dans d'autres pays dans la région également ; affichant un taux de croissance annuel de 8,2 % au Bangladesh (1990–96), 13,5 % au Népal (1990–99), 8,0 % au Pakistan (1990–99), et 7,3 % au Sri Lanka (1990–97). En l'absence de technologies plus propres et de mesures de contrôles plus strictes, le niveau des émissions des véhicules devrait augmenter dans des proportions encore plus élevées.

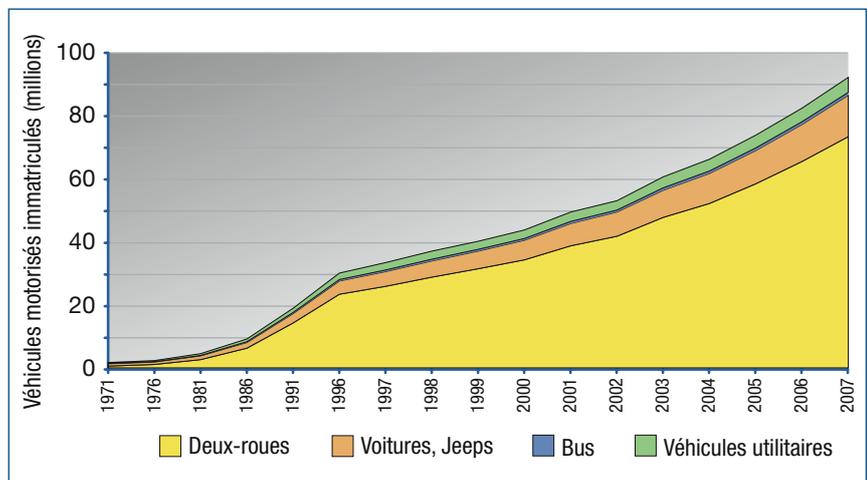
Selon les estimations, les véhicules à moteur essence à deux temps représentent environ 60 % du parc total de véhicules en Asie de Sud. La proportion

est même plus élevée dans d'autres villes asiatiques en développement. Le grand nombre de ces véhicules, leur âge, le faible entretien dont ils font l'objet, l'usage excessif de lubrifiants et la mauvaise qualité de ces derniers, ainsi que les encombrements causés dans les grandes villes, en font une des sources d'émissions de particules les plus importantes.

Les moteurs à deux temps possèdent plusieurs avantages sur les moteurs à quatre temps : un plus faible coût ; un couple puissant ; une simplicité mécanique relative (moins de pièces mobiles et une plus grande facilité à l'entretien) ; des moteurs plus légers et plus petits ; une plus grande souplesse de fonctionnement ; et des émissions d'oxydes d'azote moins élevées. En contre partie, ils possèdent quelques désavantages : un taux d'émission plus

**Fig. 8**  
Nombre de véhicules à moteur enregistrés en Inde, 1971–2007.

« Le Profil Statistique de l'Industrie Automobile Indienne 2007–2008 », Société des Constructeurs Automobiles Indiens



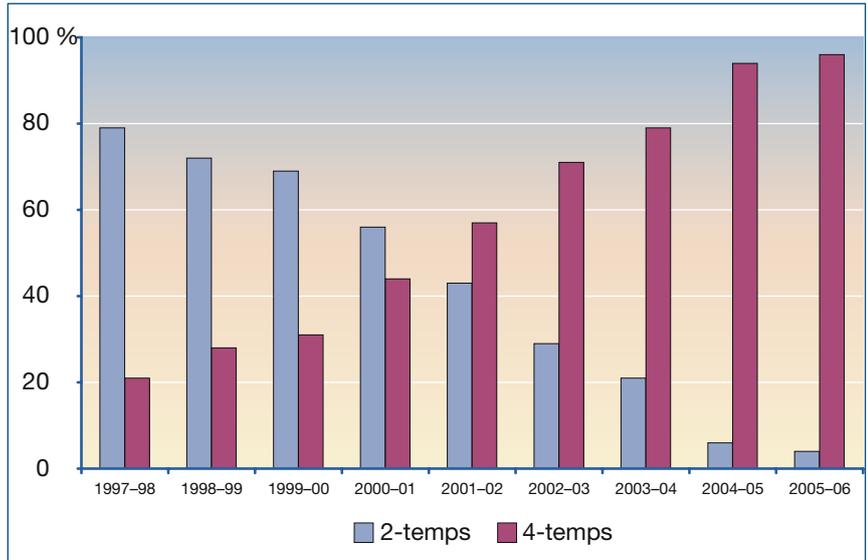
## Encadré 1 : Contexte du problème

Synthèse, Atelier régional 2001,  
<http://adb.org/vehicle-emissions>

- Il n'existe nulle part dans le monde une concentration de véhicules à deux et trois roues aussi élevée qu'en Asie ; à la fois dans l'absolu, et en proportionnelle relativement à l'ensemble du parc de véhicules à moteur en circulation. Cette proportion dépasse les 50 % et peut atteindre des proportions au-delà de 90 % ; une situation unique en son genre comparée à d'autres régions dans le monde. Par conséquent, il va de soi que la priorité soit donnée à l'élaboration et à la mise en œuvre de stratégies de lutte contre la pollution qui soient spécifiques à ces véhicules, si les villes asiatiques aspirent à vivre dans une atmosphère propre.
- Deux types de moteurs propulsent ces véhicules : moteurs à deux temps et moteurs à quatre temps. La différence principale entre les deux est que, dans le moteur à deux temps, l'huile de lubrification est mélangée avec le combustible pour être ensuite brûlée dans la chambre à combustion. Les principaux polluants émis par les moteurs à deux temps sont les hydrocarbures (HC) et les particules ; les moteurs à quatre temps émettent relativement moins de particules, de HC et de CO, et ont une plus faible consommation de carburant, par contre ils génèrent des émissions de NO<sub>x</sub> plus élevées.
- Actuellement, on observe une tendance de reconversion des moteurs du deux temps vers le quatre temps dans certains pays de la région. D'ailleurs, une augmentation rapide des ventes annuelles des deux-roues à moteur à quatre temps est à noter en Inde (Figure 9). Cela est attribuable à l'entrée en vigueur de normes d'émissions strictes, à l'évolution des préférences des utilisateurs, et au déclin des véhicules à moteur à deux temps dans sur marché car les fabricants tendent de plus en plus vers la technologie du quatre temps. La Figure 10 montre que la flotte de motocycles à Bangkok est également soumise à une transition rapide vers les moteurs à quatre temps.
- La consommation de carburant liée au transport est en augmentation dans la région asiatique. L'un des facteurs les plus déterminants dans cette évolution est la croissance importante et soutenue des véhicules à deux et trois roues. Les moteurs à quatre temps sont plus économes en carburant que ceux à deux temps ; la reconversion mentionnée ci-dessus devrait ainsi et d'une certaine manière permettre de ralentir cette croissance. Une consommation accrue de carburant conduit à l'augmentation du CO<sub>2</sub> émis dans l'atmosphère, en sachant que ce dernier est un des plus importants gaz à effet de serre.
- Les émissions de particules provenant des véhicules à deux et trois roues en Asie contribuent à de graves détériorations de la qualité de l'air dans les grandes villes, mais aussi à l'augmentation de la mortalité précoce et de certaines maladies. Les hospitalisations pour cause d'asthme et autres affections bronchiques se font de plus en plus courantes. Très peu d'analyses typologiques ont été menées sur les particules émises par les moteurs à deux temps ; elles sont ainsi très peu caractérisées par rapport à leurs facteurs d'influence, leur profil de taille et leur composition organique. Or, une telle caractérisation est importante, car les particules de très petite taille sont considérées comme les plus dangereuses en termes d'impact sur la santé publique. La caractérisation des HC en termes de taux de toxicité global est également importante. En outre, les émissions des moteurs à quatre temps peuvent également contribuer à une haute concentration ambiante de polluants, tels que les NO<sub>x</sub> qui subissent des transformations secondaires dans l'atmosphère.
- Bien que des données soient disponibles ailleurs dans le monde sur les effets sanitaires

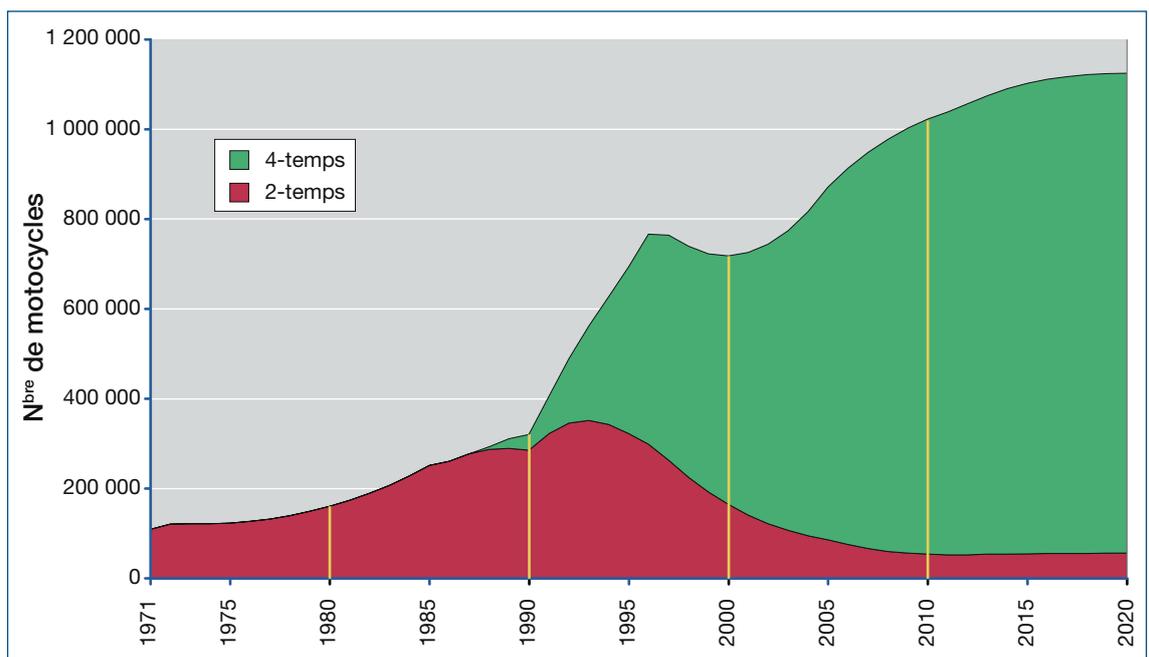
spécifiques aux différents polluants émis par les deux et trois-roues (données qui au passage suggèrent des impacts graves sur la santé), il est nécessaire que des études locales viennent réaffirmer ces liens et ces impacts pour les deux et trois-roues circulant dans les villes asiatiques. De plus, il existe aussi un énorme besoin de sensibilisation du public quant à ces effets néfastes sur la santé.

- Les facteurs actuels d'émissions des différents types de deux et trois-roues en Asie sont mal définis. La composition des carburants et des huiles de lubrification, l'entretien courant, les habitudes de conduite et les différents modes d'utilisation doivent être étudiés en fonction de leur impact sur ces facteurs d'émission.
- De par le fait que les pays développés ont des populations de deux et trois-roues beaucoup plus petites relativement, ils ne donnent pas beaucoup d'importance à l'élaboration de programmes radicaux visant à réduire les émissions de ces véhicules. Les pays d'Asie devront donc prendre les devants et élaborer des stratégies pour rendre ces véhicules plus propres.



**Fig. 9**  
*Proportion en augmentation progressive des deux roues à moteur à 4-temps en Inde (volume des ventes annuelles).*

Source : M. N. Muralikrishna, « Indian Two-Wheelers », International Seminar on Fuel Efficiency, Petroleum Conservation Research Association, Chennai, 6-7 décembre 2007, <http://www.pcrs.org>



**Fig. 10**  
*Le parc de motocyclettes à Bangkok.*  
Shah, 2001

élevé de particules et d'hydrocarbures ; de faibles économies de carburant ; et, une pollution sonore plus conséquente.

élevés d'émission de particules, d'oxydes d'azote, et d'oxydes de soufre (si le niveau de soufre dans le diesel utilisé est élevé).

Les particules, en raison de leur concentration ambiante très élevée et de leur impact très documenté sur la morbidité et la mortalité prématurée, sont un polluant faisant l'objet d'une préoccupation particulière dans les villes en développement en Asie. Le niveau de particules avec un diamètre de moins de 10 microns (PM<sub>10</sub>) dépasse, et de plusieurs fois, les normes internationalement admises dans les villes d'Asie. Or, deux sources majeures sont derrière ces émissions dans le secteur de transport : les véhicules

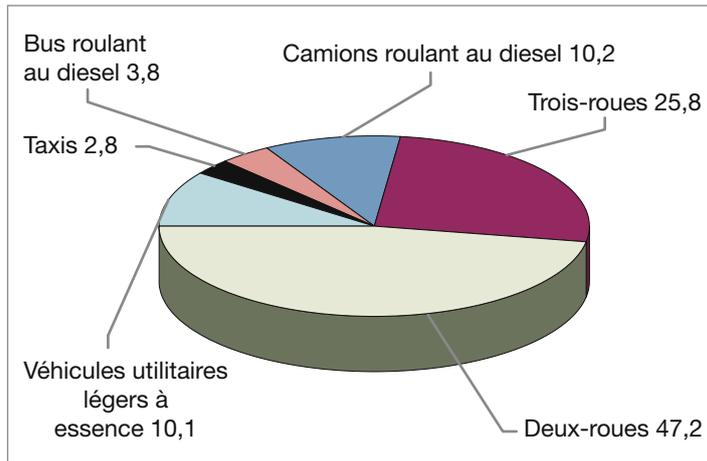
### 3.1 Types d'émissions

Les moteurs essence contribuent significativement à la pollution de l'air par des émissions à des niveaux élevés de particules (dans le cas des moteurs à deux temps), de monoxyde de carbone, d'oxydes d'azote, de composants organiques volatiles, et de plomb dans le cas où le carburant en contient. Les moteurs diesel, eux, sont responsables de niveaux

Fig. 11a, b, c, d  
Contribution des véhicules à deux et trois roues aux émissions de particules et d'hydrocarbures à Delhi, et les émissions des particules fines dans deux zones à grand trafic à Bangkok.

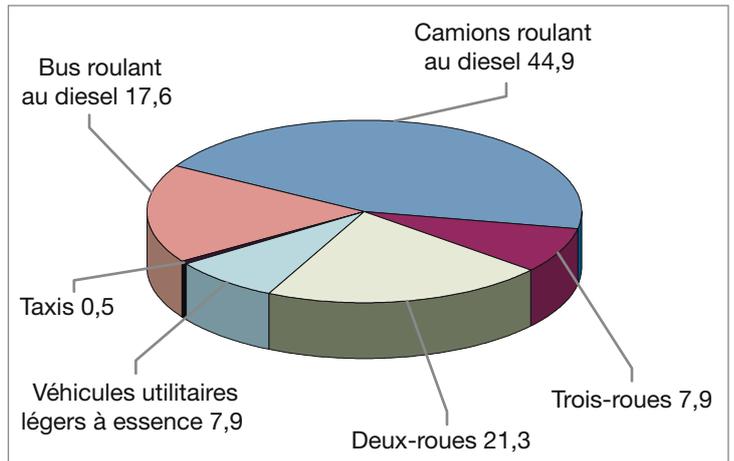
#### a. Émissions de PM<sub>10</sub> à Delhi (%)

Walsh, 2001, de Jitu Shah & JianXie, 2000



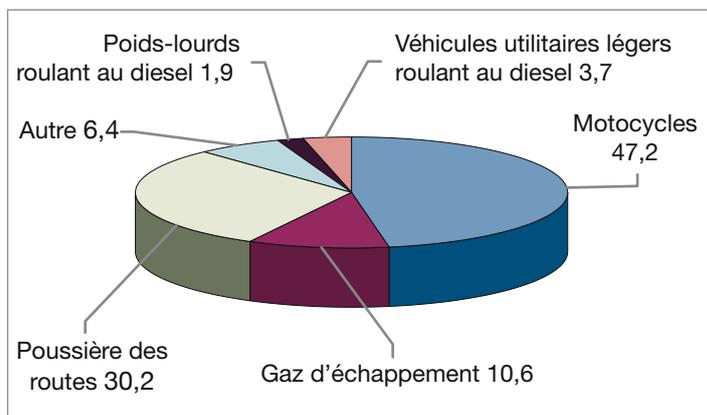
#### b. Émissions de HC à Delhi (%)

Walsh, 2001, de Jitu Shah & JianXie, 2000



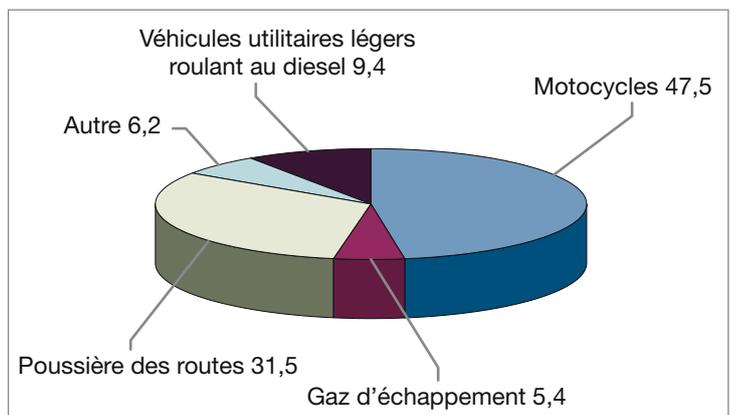
#### c. Sources des émissions de particules (%) dans les zones à grand trafic à Bangkok (1996) : Odeon Circle

Walsh, 2001, Stratégie de réduction des PM dans l'aire métropolitaine de Bangkok, Projet de rapport final, Radian International



#### d. Sources des émissions de particules en (%) dans les zones à grand trafic à Bangkok (1996) : Pratunam Intersection

Walsh, 2001, Stratégie de réduction des PM dans l'aire métropolitaine de Bangkok, Projet de rapport final, Radian International



à moteur essence à deux temps et les poids-lourds roulant au diesel. La contribution des deux et trois-roues aux émissions, notamment de particules, est illustrée dans la Figure 11. Cette contribution relative des deux-roues aux émissions de PM et d'HC a néanmoins probablement baissée ces dernières années ; et la raison principale est une augmentation rapide des deux-roues propulsés par des moteurs à quatre temps (voir la Figure 9). Ces derniers émettent en effet de manière moins significative des PM et des HC dans l'atmosphère. Une autre raison pour cela est que la plupart des deux-roues récents sont équipés de moteurs à deux temps intégrant un convertisseur catalytique à oxydation ; qui permettent de réduire d'environ 50 % les émissions de PM et HC (consulter Palke et Tyo, SAE 1999). Enfin, une dernière raison est un recours moins courant aux huiles lubrifiantes synthétiques pour moteurs à deux temps (Rudolf *et al.*, 2005).

Les émissions des moteurs à deux temps sont élevées en raison de leur conception même. Le combustible est échangé par deux ports, généralement situés l'un en face de l'autre dans le cylindre. Le combustible, – compressé et mélangé à de l'air comprimé dans le carter, entre par l'orifice d'injection ; les résidus de la combustion sont évacués par l'orifice d'échappement. Quand ces deux orifices sont simultanément ouverts, une partie du combustible non encore brûlé s'échappe par l'orifice d'échappement ; conduisant à ce qu'on appelle des « pertes de balayage » (*scavenging losses*), et qui peuvent s'élever jusqu'à 15–40 % du mélange non brûlé. En conséquence, les gaz d'échappement contiennent un niveau élevé de carburant et de lubrifiant non brûlés.

Les émissions d'oxydes d'azote ont tendance à être plus faibles cependant car une partie importante des combustibles restent dans le cylindre.

Dans les moteurs à deux temps, le carter n'est pas utilisé comme réservoir à huile, comme c'est le cas dans les moteurs à quatre temps. A la place, une petite quantité d'huile lubrifiante est ajoutée au carburant, ou introduite mécaniquement de façon continue. Puisque la lubrification fonctionne « à perte totale » (en utilisation unique), une combustion incomplète du lubrifiant et des autres hydrocarbures lourds résulte en une émission de ceux-ci tels quels dans l'atmosphère, sous forme de petites gouttelettes. Ces gouttelettes d'huile augmentent la fumée visible et les émissions de particules, avec de graves répercussions sur la santé publique.

#### Les deux sources majeures aux concentrations ambiantes élevées de PM<sub>10</sub> sont les véhicules à moteur essence à deux temps et les poids-lourds roulant au diesel.

Le Tableau 3 illustre les résultats d'une série de tests effectués en automne de l'année 2000 à l'ARAI (the Automotive Research Association of India). Ces tests ont eu pour objet de mesurer les niveaux de particules émises par les moteurs en utilisation des trois-roues de Dhaka (cylindrée de 150 centimètres cubes) ; les valeurs obtenus ont été comparées aux valeurs typiques relevées aux États-Unis dans les années 1970. Les résultats ont montré que les véhicules âgés de 7 ans et utilisant en excès « une huile

#### Port du casque

Plusieurs pays d'Asie ont une législation qui rend obligatoire le port du casque pour les motocyclistes. Bien que, en Inde une loi similaire soit en vigueur depuis de nombreuses années, son application est extrêmement faible, à l'exception de quelques villes comme Delhi et Chandigarh.

De même, en Indonésie, même si les lois sont appliquées, les motocyclistes sont souvent faiblement équipés et ne portent que de minces casques en plastique. Ces casques bon marché ne coûtent qu'aux environs de 1,50 USD, et n'offrent que peu de protection en cas d'accident.

Pour une explication plus détaillée des problèmes de sécurité routière, veuillez vous référer au Module 5b : *La sécurité routière urbaine*.

**Tableau 3 : Émissions des trois-roues à moteur à deux temps au Bangladesh (grammes par kilomètre)**

Âge de véhicule	Type de Lubrifiant	Pourcentage de lubrifiant	Hydrocarbures	Monoxyde de carbone	Oxydes d'azote	Particules
7 ans	Normal	8 %	23	25	0,03	2,7
7 ans <sup>a)</sup>	2T	3 %	16	17	0,09	0,9
4 ans	normal	8 %	9	8	0,08	0,6
4 ans	2T	3 %	9	10	0,09	0,2

Source : ARAI, novembre 2000. Les mesures sont préliminaires et exigent des analyses supplémentaires.

Note : a) Les mesures sont prises après exécution de simples procédures d'entretien sur le véhicule.

### Réduire la pollution tout en économisant de l'argent

De nombreux conducteurs au Bangladesh utilisent de l'huile minérale à la place de l'huile 2T dont le prix est plus faible, alors même que le passage à l'huile 2T leur aurait fait économiser bien plus d'argent. L'huile minérale ordinaire à Dhaka se vend aux environs 50 takas le litre, tandis que l'huile 2T coûte environ 90 takas le litre. Un chauffeur de bébé-taxi qui utilise 6 litres d'essence par jour et travaille 280 jours par an devrait normalement dépenser 6 700 takas par an pour l'huile minérale pure à 8 %. S'il passe à l'huile 2T à une concentration de 3 %, il dépenserait seulement 4 500 takas par an, soit une économie annuelle de 2 200 takas. Le passage à l'huile 2T permettrait en outre de réduire les émissions et assurerait un meilleur entretien des véhicules.

Source : Informal World Bank survey, 1999.

minérale ordinaire simple » émettent jusqu'à dix fois plus de particules ; les véhicules âgés de 4 ans utilisant « une huile minérale ordinaire » émettent jusqu'à deux à trois fois plus de particules. Pour les deux catégories d'âge, les tests affirment que les émissions de particules seraient beaucoup moins élevées si l'huile 2T, formulée spécifiquement pour les moteurs à deux temps, était utilisée dans des proportions correctes.

Si les véhicules à moteurs à deux temps émettent significativement plus d'essence non brûlée que les moteurs à quatre temps, ils émettent donc plus de plomb également (si l'essence utilisée en contient). Le plomb organique est par contre autrement plus dangereux pour la santé publique que le plomb inorganique formé par la combustion des additifs de plomb. Le Bangladesh a éliminé ce composé de l'essence commercialisée en juillet 1999, l'Inde en février 2000. Depuis 2002, seule l'essence sans plomb est disponible au Sri Lanka, c'est également le cas au Pakistan depuis 2001. Cependant, l'émission de plomb continue à poser un problème dans les pays dans lesquels l'essence avec plomb est toujours disponible. Une analyse supplémentaire des résultats obtenus dans le cadre de ce projet est rapportée dans *Bangladesh : Reducing Emissions from Baby-Taxis à Dhaka*, ESMAP Rapport 253/02, janvier 2002, <http://www.esmap.org>. Les conclusions les plus importantes se résument comme suit :

- Les niveaux d'émission de PM sont élevés, allant de 0,16 à 2,7 g/km, avec une moyenne de 0,7 g/km. Si on inventorie toutes les émissions de PM, la contribution des moteurs essence à deux temps pourrait ne pas paraître substantielle, considérant ces ratios. Seulement, la nature même des particules émises est fondamentalement différente entre les moteurs à deux temps diesels et ceux essence ; de ce fait, il serait faux de les additionner. Afin de développer une stratégie de réduction des émissions, il peut être plus judicieux donc de garder ces deux catégories de sources d'émission de PM séparées.
- L'état mécanique du véhicule (reflétant à la fois sa technologie automobile et son entretien) a clairement le plus grand impact sur le niveau d'émission. Les véhicules les plus anciens sont ceux qui émettent le plus de PM, d'hydrocarbures, et de CO.

- Le niveau d'émission de particules a suivi la tendance prévue ; exception faite des véhicules utilitaires. Ceux-ci, utilisant une huile minérale ordinaire, des concentrations de lubrifiant élevées, et roulant avec une essence achetée localement à Dhaka (et qui est souvent frelatée avec du kérosène), ont enregistré une nette augmentation de leurs émissions.

### 3.2 Les facteurs aggravant les émissions

Les facteurs aggravant les émissions sont les suivants : un faible entretien des véhicules, une utilisation inappropriée de lubrifiant, une altération de l'essence, et un manque d'équipement en convertisseurs catalytiques. Ces facteurs exacerbent les émissions des moteurs à deux temps, aboutissant à des niveaux bien au-dessus des normes admissibles. En outre, de nombreux conducteurs utilisent des lubrifiants et des carburants de mauvaise qualité.

#### Mauvais usage des lubrifiants

A la fois la quantité et la qualité du lubrifiant utilisé affectent le niveau des émissions d'hydrocarbures et de particules pour le cas des moteurs à deux temps. Les constructeurs automobiles recommandent l'adjonction de 2 % de lubrifiant pour les deux-roues et 3 % pour les trois-roues. De nombreux conducteurs de trois-roues ajoutent néanmoins du lubrifiant dans des quantités considérables ; et ce pour plusieurs raisons :

- Ignorance de la quantité précise à ajouter ;
- Ignorance des méfaits d'un excès d'usage de lubrifiant ;
- Altération de l'essence commercialisée par les employés des stations-service, par une adjonction excessive de lubrifiant ;
- Idée reçue que plus de lubrifiant fournit une plus grande protection contre le grippage du piston ;
- Idée reçue stipulant qu'une plus grande quantité de lubrifiant augmente les économies de carburant ;
- Une miscibilité plus faible de l'huile minérale ordinaire et des huiles à moteur classiques avec l'essence, par rapport à l'huile 2T.

L'utilisation excessive de lubrifiants augmente les dépôts dans la chambre à combustion et encrasse les bougies d'allumage. Lorsque les pistons et les bagues sont très usés, l'excès de lubrifiant peut retarder le

grippage du piston pendant un certain temps. En outre, les effets indésirables sur le plan social d'un niveau d'émission trop élevé l'emportent largement sur les avantages éventuels pour les propriétaires des véhicules.

Les exigences d'usage des lubrifiants sont différentes pour les moteurs à deux temps comparativement aux moteurs essence à quatre temps : bonne lubricité ; propreté des pistons ; faibles dépôts – particulièrement dans le système d'échappement ; et faible émission de fumée. Les véhicules à moteur à deux temps doivent utiliser une huile 2T spécialement formulée. Comme le polyisobutène de poids moléculaire modéré a tendance à se décomposer sans laisser des dépôts résiduels lourds, un épaississant pour polyisobutène est de plus en plus utilisé dans les lubrifiants. Le Japon a pris l'initiative d'élaborer de nouvelles huiles pour motocycles, qualifiées de « lubrifiants à faible éjection de fumée » ou « lubrifiants sans fumée ». Beaucoup de véhicules à trois roues cependant n'utilisent pas l'huile 2T recommandée par les constructeurs de véhicules. À la place, ils utilisent l'huile minérale ordinaire ou les huiles à moteurs classiques (nouvelles ou recyclées) ; et qui aboutissent à un plus grand dépôt de résidus et à des niveaux d'émission élevés (voir la note en marge de page). Le seul avantage de ces huiles est leur coût inférieur ; même si certains conducteurs pourraient penser que ces huiles plus visqueuses fournissent une meilleure protection pour le moteur. Dans certains pays, tels que le Bangladesh et le Sri Lanka, l'huile 2T n'est pas facilement disponible dans les stations-services.

---

**Les trois-roues sont utilisés beaucoup plus fréquemment que les deux-roues et nécessitent de ce fait un entretien plus fréquent.**

---

Les huiles à moteurs classiques ne se mélangent pas bien avec l'essence. Leur utilisation dans les véhicules à moteur à deux temps aboutit à une lubrification insuffisante quand l'huile n'atteint pas le moteur, et à des émissions plus importantes lorsqu'elle l'atteint. L'utilisation sur le long terme des lubrifiants conventionnels résulte en une usure précoce du moteur et en des coûts d'entretien conséquents.

### L'entretien inadéquat des véhicules

Dans la mesure où ils sont principalement utilisés à dessein commercial, les véhicules à trois roues sont utilisés plus fréquemment que les véhicules à deux roues ; ils nécessitent de ce fait un entretien plus fréquent. Or, les conducteurs ne parviennent pas toujours à entretenir correctement leurs véhicules. Et le problème se pose d'autant plus lorsque les véhicules sont loués ; car aucun du locataire-conducteur ou du propriétaire ne se sent responsable directement de l'état mécanique du véhicule.

En outre, les émissions des véhicules sont exacerbées par l'âge, en plus du mauvais entretien du véhicule. Une étude aux États-Unis a révélé que les véhicules mal entretenus, et qui représentent 20 % de toute la flotte en circulation, contribuent à hauteur d'environ 80 % des émissions totales imputées aux véhicules (Auto/Oil Air Quality, 1997). Récemment, à Dhaka au Bangladesh, une série de trois bébé-taxis, vieux de quatre à sept ans, a été sélectionnée au hasard pour une inspection de l'état mécanique des véhicules. Les ingénieurs effectuant les contrôles sur les moteurs ont trouvé des traces de multiples réparations informelles et de modifications mécaniques considérables non autorisées. Une combinaison d'un entretien inadéquat ou mauvais à des retouches effectuées par des mécaniciens non qualifiés aboutit à un mauvais état mécanique des véhicules circulant dans de nombreuses villes d'Asie.

### Altération de l'essence

L'essence frelatée au kérosène conduit à des émissions plus importantes. Le kérosène possède un point d'ébullition plus élevé que l'essence ; il est ainsi plus difficile à brûler. En conséquence, sa présence dans le processus de combustion conduit à une masse de résidus déposés dans le moteur plus importante et à des émissions plus conséquentes d'hydrocarbures imbrûlés dans les gaz d'échappement. De nombreux indices laissent à penser que l'altération de l'essence est une pratique très répandue en Asie du Sud, notamment en raison du prix de vente au détail du kérosène nettement plus bas. Des tests effectués en 1998 par la Banque mondiale sur des échantillons limités de véhicules à Dhaka ont également montré qu'une fraction non négligeable de l'essence utilisée est frelatée.

### Manque de convertisseurs catalytiques

Les convertisseurs catalytiques – dont sont équipées les voitures particulières dans de nombreuses régions du monde où l'essence sans plomb est disponible facilement – ne peuvent être utilisés pour convertir une forte proportion d'hydrocarbures dans les moteurs à deux temps, car les modèles conçus actuellement aboutissent à une réaction fortement exothermique (dégagement de chaleur) et à des fritages des métaux nobles ; ce qui conduit à une désactivation du catalyseur. De plus, la fâcheuse tendance des moteurs à deux temps à un défaut d'allumage dans des conditions de faible charge tend à aggraver le problème de désactivation du catalyseur. En dépit de ces limitations cependant, les catalyseurs à oxydation – qui soit dit en passant abaissent considérablement les niveaux d'émissions des HC, du CO, et dans une certaine mesure la quantité de PM émises sous forme de gouttelettes d'huile – ont été utilisés à Taiwan (Chine) pour répondre aux normes d'émissions locales de plus en plus exigeantes. Depuis l'année 2000, ces convertisseurs sont installés dans tous les nouveaux véhicules à deux et trois roues à moteur à deux temps en Inde pour répondre également aux nouvelles normes d'émissions strictes imposées.

## 3.3 L'impact des émissions

### Les effets sur la santé

Les recherches dans différentes villes et pays ont montré que les  $PM_{10}$ , et spécialement les  $PM_{2,5}$  (particules dont le diamètre est d'au plus égal à 2,5 microns, appelées particules fines), sont extrêmement néfastes pour la santé publique. Ces particules sont associées à des dysfonctionnements respiratoires, à l'exacerbation de l'asthme, à des changements dans la fonction pulmonaire, voire à la mort prématurée (pour plus d'informations générales voir Module 5a : *Gestion de la qualité de l'air*)

L'impact de ces particules sur la santé augmente avec la réduction de leur diamètre. Les particules très fines – telles que celles émises par la combustion des carburants de transport – sont considérées comme particulièrement nocives. De plus, le fait qu'elles soient émises au niveau du sol, là où les gens vivent et travaillent, signifie que les émissions imputées aux véhicules sont encore plus dangereuses que ce que

leur pourcentage de contribution dans les charges totales d'émission ne pourrait le suggérer. Les effets sur la santé des particules à base de gouttelettes d'huile ne sont pas très bien compris. La plupart des études menées pour s'en rendre compte ont été conduites dans des pays où le parc de véhicules à moteur à deux temps n'est pas très significatif, et où les véhicules diesel et les sources fixes représentent les sources principales d'émission de ces particules fines. Dans toutes ces études, la maladie et la mort régressent en fonction des concentrations globales de particules ambiantes mesurées par le total des particules en suspension ou  $PM_{10}$ , et non en fonction des émissions de particules exclusivement liées aux véhicules. Or, la plupart des particules provenant des moteurs à deux temps sont solubles dans la matière organique, contrairement à celles émises par les véhicules diesel et les sources fixes qui contiennent, elles, une quantité importante de carbone graphitique. Le comportement de ces premières dans l'atmosphère en termes de nucléation, d'agglomération, de dispersion et de condensation pourrait être très différent. Ce domaine de recherche mériterait d'être exploré davantage.

### Les effets du réchauffement climatique

Trois gaz à effet de serre émis par les véhicules sont supposés avoir un impact sur le réchauffement climatique : le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde d'azote. Les moteurs à deux temps ne sont pas une source importante de ces émissions. Cependant, le secteur des transports est responsable d'environ 13 % en moyenne des émissions de dioxyde de carbone en Asie du Sud ; allant de 10 % au Bangladesh à 48 % au Sri Lanka (International Energy Agency, 1997). Les émissions des véhicules à moteur à deux temps sont relativement faibles en raison de leur faible consommation de carburant. Ils représentent environ 11 % des émissions de dioxyde de carbone des véhicules (8 % par les deux-roues et 3 % par les trois-roues) et une part très faible des émissions de méthane et d'oxyde d'azote.

Seulement 1 à 2 % du total des gaz à effet de serre en Asie de Sud peuvent être reliés ainsi aux véhicules à moteur à deux temps. Cette contribution très faible des véhicules à moteur à deux temps dans les émissions des gaz à effet de serre suggère que les efforts pour réduire ces émissions de manière particulière

devraient cibler d'autres types de véhicules ; tels que les autobus et les camions poids-lourds, ainsi que les secteurs autres que le transport. Néanmoins, des mesures d'atténuation qui réduisent la pollution locale des moteurs à deux temps peuvent mener à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Des exemples de telles mesures incluent le passage à des moteurs à quatre temps plus économes en carburant et le passage aux véhicules électriques ; surtout quand l'électricité utilisée pour charger le véhicule est générée en utilisant un carburant propre comme le gaz naturel. Il y a lieu de noter que plusieurs pays dans la région asiatique sont en train de rapidement procéder à la généralisation des moteurs à quatre temps pour leurs deux-roues. Citons parmi ceux-ci la Thaïlande, Taïwan (Chine), et l'Inde. Le Viêt Nam avait amorcé cette reconversion vers les moteurs à quatre temps bien avant. L'introduction de normes d'émissions de plus en plus strictes et le changement des habitudes des usagers ont pu permettre ces tendances.

Les véhicules électriques alimentés par des batteries de petites capacités deviennent de plus en plus populaires en Chine, avec un marché atteignant les 20 millions d'unités en 2007 (Cherry, Weinert, Ximiao, 2008).

Une étude détaillée de la consommation énergétique et des émissions moyennes, générées sur un cycle de vie entier des vélos électriques chinois a démontré que : par rapport à une moto, un vélo électrique est beaucoup plus efficace et énergétiquement et en termes d'émissions atmosphériques et ce pour la plupart des polluants. L'étude a constaté d'ailleurs que de manière générale les vélos ont surpassé tous les modes en termes d'impacts sur l'environnement. Un facteur important à noter toutefois pour le cas des vélos électriques, est l'impact lié à l'utilisation du plomb dans les batteries. La pollution par le plomb liée aux procédés de production et d'élimination des batteries des vélos électriques est en moyenne deux fois plus élevée que celle inhérente aux bus, sur la base d'un passager-kilomètre (Cherry, Weinert, Ma, 2006). Un chapitre de ce module abordera les impacts environnementaux des vélos électriques avec des études de cas tirés de la Chine.

---

### Les vélos surpassent tous les modes en termes d'impacts environnementaux.

---

Les évolutions récentes en matière d'injection directe du carburant dans les moteurs à deux temps semblent tenir une promesse de non seulement faire baisser les émissions des polluants, mais de réduire la consommation des carburants et les émissions de CO<sub>2</sub> (Johnson, 2001). Une application de cette technologie – encore limitée – à de petits deux et trois-roues a déjà commencé en Italie, en Chine et en Inde.

### 3.4 Réduction des émissions des véhicules à moteurs à deux temps

Exception faite de l'Inde, de Taïwan (Chine) et de la Thaïlande, la plupart des pays de l'Asie n'ont pas encore adopté des mesures fortes pour réduire les émissions des moteurs à deux temps. Celles-ci comportent l'utilisation des lubrifiants à faible fumée, l'installation des catalyseurs à oxydation, et la mesure mécanique du lubrifiant. Cette section examine les différents moyens d'améliorer le fonctionnement des moteurs à deux temps. La section suivante recherche des alternatives aux moteurs essence à deux temps.

#### Technologies automobiles

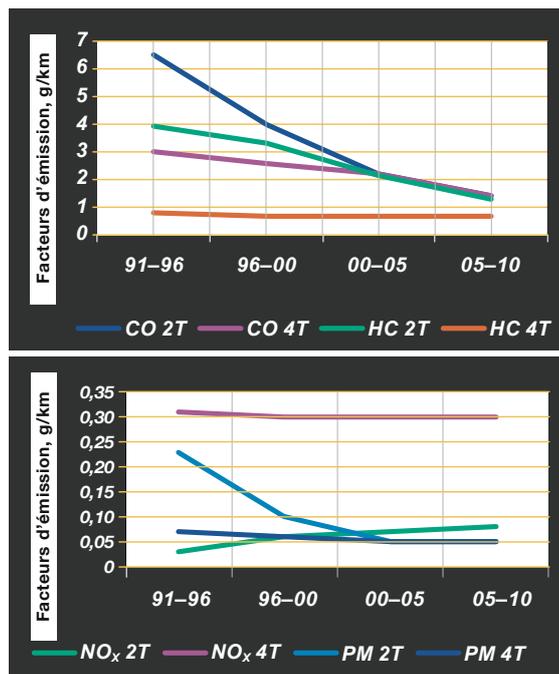
##### Baisse récente dans les émissions

Les facteurs d'émission des nouveaux deux-roues, bien entretenus et utilisant la quantité correcte de lubrifiant, ont diminué ces dernières années. La Figure 12 illustre la réduction progressive au cours de la dernière décennie des taux de divers polluants émis par les deux-roues avec moteurs à deux temps et à quatre temps en Inde. Les tests ont montré qu'un scooter équipé d'un catalyseur, par exemple, a émis seulement 0,015 grammes de particules par km dans un essai récent, mais même ce facteur d'émission est de plusieurs fois supérieur à celui d'un scooter à quatre temps comparable.

Mais les données sur les facteurs d'émission pour les particules doivent être interprétées avec prudence. En effet, aucune méthodologie établie n'est acceptée à l'échelle industrielle mondiale pour la mesure

**Fig. 12**  
**Réduction progressive**  
**des facteurs d'émission**  
**en raison de**  
**l'application de normes**  
**restrictives en Inde.**

Qualité des Carburants de  
 Transport pour l'année 2005,  
 CPCB, décembre 2000



des émissions de particules pour les moteurs à deux temps. Presque tous les travaux effectués sur les véhicules à moteur à deux temps ont visé la réduction des émissions d'hydrocarbures (ou encore la somme combinée des hydrocarbures et des oxydes d'azote), de monoxyde de carbone et de la fumée visible. Aucune étude approfondie n'a été conduite sur les émissions de particules.

### **Aucune étude approfondie n'a été menée sur les particules (PM) émises par les véhicules à moteur à deux temps.**

La mesure des émissions de particules provenant des moteurs à deux temps est difficile, car les gouttelettes d'huile issues du lubrifiant ajouté à l'essence représentent une grande fraction des particules dans les gaz d'échappement. Selon leur taux de dilution et la température à laquelle se trouve la ligne en aval du tuyau d'échappement (y compris le tunnel de dilution), ces gouttelettes peuvent se condenser avant d'être recueillies sur le papier filtre. Les résidus d'huile condensée recueillis peuvent aussi être détruits par la suite du passage du gaz à travers ce même filtre. Une étude récente commanditée par la Commission Européenne a confirmé le fait que les

techniques actuelles utilisées pour mesurer les émissions de PM des moteurs diesel ne sont pas vraiment reproductibles pour mesurer les émissions de PM des moteurs à deux temps des deux-roues. Les véhicules conçus pour satisfaire à des normes d'émission strictes, comme celles appliquées en Inde, à Taiwan et dans le cadre de la norme Euro 3, présentent des émissions de particules inférieures, jusqu'à 90 % moins, que les véhicules non contrôlés. L'étude a conclu finalement que toute restriction législative relativement aux émissions de PM imputées aux véhicules à moteurs devrait prendre appui sur une compréhension adéquate des effets de ces émissions sur la santé publique (Rudolf *et al.*, 2005).

### **Installation de pots catalytiques**

Les convertisseurs catalytiques conçus pour les véhicules à deux et trois roues sont des catalyseurs à oxydation qui réduisent le niveau de monoxyde de carbone (CO) émis, les émissions d'hydrocarbures (HC), mais pas celles des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) ; contrairement aux catalyseurs à trois voies généralement installés dans les voitures particulières, qui eux, réduisent également les émissions des oxydes d'azote. Les premiers ne sont en effet pas conçus pour atteindre le niveau de performance des derniers en termes de conversion du CO et des HC, et ce en raison d'une plus grande quantité de HC et de lubrifiant présente dans les gaz d'échappement des moteurs à deux-temps. Ils réduisent donc les émissions des échappements uniquement de moitié. Ces convertisseurs catalytiques réduisent en outre les émissions de particules également, à hauteur de moitié (Palke *et al.*, 1999) ou du tiers (Kojima *et al.*, 2002).

### **Les catalyseurs se désactivent plus rapidement dans les véhicules à moteur à deux temps... et doivent être remplacés fréquemment.**

Les catalyseurs se désactivent plus rapidement dans les moteurs à deux temps, partiellement en raison de la température élevée des gaz d'échappement, et doivent en conséquence être remplacés fréquemment. Taiwan (Chine) a posé des exigences

relativement à la durée de vie des catalyseurs équipant les motocycles, fixée initialement à 6 000 km puis à 15 000 km aujourd'hui.

Un règlement récent du Gouvernement indien spécifie un facteur de détérioration fixe de 1,2 pour tous les véhicules à deux et trois roues équipés de convertisseurs catalytiques à oxydation, tenant compte de la durée de vie du catalyseur. Le fabricant automobile bénéficie d'une option pour effectuer un test de durabilité jusqu'à 30 000 km. Seulement, pour le cas des trois-roues sud-asiatiques, qui roulent souvent en moyenne 120 km par jour, 15 000 km équivalent à moins de six mois de circulation. Pour un véhicule amené à fonctionner au-delà de 10 ans, comme c'est le cas souvent dans les pays en développement d'Asie, le catalyseur doit être remplacé jusqu'à 20 fois si on veut maintenir le niveau initial des émissions de particules. Il s'agit là clairement d'un problème.

En Inde, tous les constructeurs de véhicules à deux et trois roues offrent à leurs clients une garantie d'émissions jusqu'à 30 000 km. Bien que cette garantie ait été initialement proposée par les constructeurs pour répondre à l'exigence de durée de vie des convertisseurs catalytiques, elle est offerte maintenant indépendamment du fait que les véhicules en soient équipés ou non. Une telle garantie de durée de vie à 30 000 km permet en outre aux conducteurs de remplacer leurs catalyseurs à la même fréquence de révision des moteurs de leurs véhicules. La *Synthèse* de l'Atelier Régional (2001) stipule que, pour passer à l'état d'application, ces garanties nécessitent la mise en place de conditions spécifiques concernant les carburants, les lubrifiants et l'entretien des véhicules ; des conditions qui soient réalistes au regard des conditions d'utilisation actuelles. Le gouvernement sera tenu de contrôler la performance des catalyseurs en marche, et de réserver des provisions pour d'éventuels programmes de rappel coûteux.

Pour répondre aux normes d'émission 2000, les trois-roues fabriqués en Inde ont été équipés par des convertisseurs catalytiques à la fois pour les modèles de moteurs à deux-temps et ceux à quatre temps.

Le coût net d'impôts d'un convertisseur catalytique installé dans un trois-roues, tous moteurs confondus, est de 1 100 roupies indiennes approximativement ; soit environ 25 USD. Le prix des

convertisseurs catalytiques dépend de celui des métaux nobles – coûteux – qui entrent dans leur fabrication. Or, l'introduction de normes d'émissions de plus en plus strictes nécessite des quantités de plus en plus conséquentes de métaux nobles dans la composition des catalyseurs ; ce qui impose des coûts de fabrication d'autant plus élevés. Toutefois, les développements récents dans le domaine des supports métalliques turbulents ont abouti à des technologies hautement efficaces permettant la transformation de l'écoulement laminaire des gaz d'échappement en un écoulement turbulent ; ce qui améliore de manière significative le comportement et

### Encadré 2 : La réduction des « pertes de balayage » (scavenging losses) dans les moteurs deux temps

Adapté de Kojima *et al.*, 2000

Plusieurs technologies sont actuellement testées pour réduire les émissions des moteurs à deux temps. L'objectif est de conserver les avantages de ce moteur tout en assurant un meilleur contrôle du rapport air-carburant et en réduisant les déperditions du mélange air-carburant (imbrûlé) à travers le pot d'échappement.

L'injection directe du carburant dans le moteur, sans passer par le carburateur, peut réduire considérablement ou éliminer les « pertes de balayage ». L'injection directe du carburant dans le moteur permet également d'utiliser de plus faibles quantités de mélange air-carburant.

L'efficacité d'une variété de systèmes pouvant convenir aux petits moteurs a été démontrée en laboratoire, mais un seul d'entre eux a été développé et commercialisé à une échelle limitée cependant (Johnson, 2001). Toutes ces mesures nécessitent un système de gestion électronique du moteur pour un contrôle précis de la cadence d'injection du carburant et de la quantité à injecter, et ce en fonction du régime du moteur et de sa vitesse de rotation. Une conséquence directe de cela serait une augmentation du coût du véhicule.

le mélange des gaz d'échappement dans le catalyseur, aboutissant à une activité catalytique améliorée et à une meilleure transformation des polluants. Ces technologies peuvent être exploitées pour réduire la taille et le volume des catalyseurs, et permettre ainsi d'aboutir à des coûts de fabrication réduits du système (Shivraj, 2008).

#### **Réduction des « pertes de balayage » (scavenging losses)**

Une grande partie de la recherche et développement dans le domaine s'est consacrée à réduire les « pertes de balayage » dans la chambre à combustion afin d'augmenter l'économie de carburant et de réduire les émissions (voir l'encadré). Des réductions substantielles ont ainsi été réalisées par la conception de meilleures configurations des soupapes d'injection/échappement. En Inde, par exemple, les pertes de carburant dus aux court-circuitages dans la chambre à combustion ont été réduites pour passer de 35 % en 1991 à 14 % pour le modèle de l'année 2000, par suite de changements dans la conception de ce dernier (Iyer, 1999).

#### **Amélioration de la qualité de l'essence**

L'altération de l'essence par le kérosène cause une augmentation des émissions d'hydrocarbures et de particules. Dans la mesure où une bonne partie de l'essence court-circuite efficacement la chambre de combustion et se retrouve émise imbrûlée par le moteur, éliminer ou réduire les composants toxiques comme le plomb et le benzène organique composant l'essence imbrûlée devient particulièrement déterminant. Cette mesure est nécessaire même par ailleurs afin d'atténuer effectivement l'impact sur la santé des émissions des moteurs à deux temps.

Les émissions sont augmentées également par une teneur élevée en gomme et un faible niveau d'octane de l'essence. Si l'essence est instable, la teneur en gomme peut devenir trop élevée ; ce qui conduit à la détérioration des réglages de carburant et à des dépôts accrus qui modifient le rapport air-carburant. Ceci pourrait entraîner à son tour des ratés d'allumage (dommageables pour le véhicule), et augmenter significativement les émissions d'hydrocarbures et de particules comprenant des gouttelettes d'huile. L'expérience de l'Inde montre que l'utilisation d'une essence avec une teneur élevée

en gomme dans des deux et trois-roues avec moteurs à quatre temps conduit à une accumulation accélérée de dépôts au niveau de la soupape d'admission, et peut conduire à son dysfonctionnement et, dans les cas extrêmes, à la déformation des vannes et à l'endommagement même des moteurs. Pour ce qui est du niveau d'octane, le niveau minimal requis pour le nombre RON (Research Octane Number) des deux et trois-roues en Asie du Sud est de 87. Mais l'essence commercialisée dans la plupart des pays de la région respecte cette exigence. En effet, le RON de l'essence ordinaire commercialisée en Inde est de 87, celui de la qualité Premium est de 91. L'essence sans plomb est disponible dans tout le Sri Lanka et, depuis décembre 2003, la vente d'essence avec plomb (teneur en plomb dépassant 0,013 g/litre) est interdite. Le RON de l'essence ordinaire au Sri Lanka est de 90 et celui de la qualité Premium est de 95. Le Pakistan a également banni le plomb en 2001, et propose deux qualités d'essence avec un RON de 87 et de 90 respectivement. Le Népal avait fait de même également en 2000, et avec un RON de 88 pour son essence. En juillet 1999, le Bangladesh a pris une décision historique en éliminant progressivement le plomb, bien que le RON de l'essence disponible ait été maintenue à 80. Un indice d'octane (RON) faible peut nuire à la performance du véhicule en provoquant un sérieux cognement du moteur ; ce qui peut conduire à une augmentation des émissions (Gota, 2009)<sup>[1]</sup>.

#### **Renforcement de la mise en œuvre des mesures**

Il ne suffit pas de réglementer la qualité du carburant. Dans certains pays en développement, les carburants sont couramment frelatés. On peut citer par exemple l'adjonction de kérosène (moins coûteux) à l'essence en Asie du Sud, ou la contamination croisée du diesel au pétrole brut, et l'ajout des additifs de plomb à l'essence en aval des raffineries ou dans les stations-services en Asie centrale et au Caucase. Toutes ces altérations augmentent les émissions de polluants dans l'atmosphère. Un contrôle régulier de la qualité du carburant ainsi que l'imposition de pénalités lourdes en cas de dérogation aux exigences

<sup>[1]</sup> Gota Sudhir, Clean Air Initiative – Asia, « Personal Communication », Mars 2009

peut aider à renforcer l'application des normes sur les carburants. Mais il est probable qu'une prévention totale de l'altération locale des carburants demeure un objectif très difficile tant qu'il y aura un motif financier et un certain gain à tirer de cette pratique.

L'expérience de la Thaïlande (Banque mondiale, 2001, citant J. Shah) illustre cette difficulté. Le frelatage de l'essence – lourdement taxée – par le kérosène – fortement subventionné – était un problème grave en Thaïlande dans les années 1980. Le gouvernement a introduit un certain nombre de mesures dont notamment :

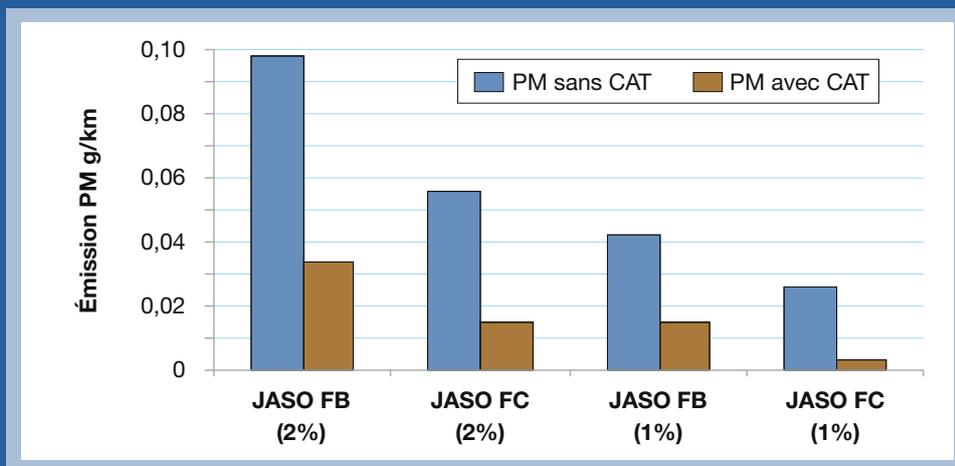
- la teinte du kérosène en bleu ;
- L'obligation de le commercialiser dans des contenants de 20 litres uniquement ;
- Le renforcement considérable des contrôles policiers.

Même si ces mesures ont eu quelques effets, les ventes de kérosène sont restées élevées jusqu'à ce que les impôts sur le pétrole aient été restructurés en 1986, avec notamment l'augmentation de la taxe sur le kérosène afin de bannir l'incitation au frelatage. Cependant, l'altération de l'essence avec des solvants industriels exempts de taxes persiste et le problème continue à se poser.

**... Le problème de l'altération de l'essence avec des solvants industriels exempts de taxes persiste et continue à se poser ...**

Le Center for Science and Environment (CSE), une ONG renommée, a été invitée par les autorités gouvernementales indiennes à faire une étude indépendante sur le problème courant de l'altération des carburants en Inde. Il a été constaté que des produits adultérants, tels que le kérosène et une certaine variété de solvants, sont effectivement mélangés à l'essence et au diesel. Mais il n'a pas été possible d'étendre aux autres solvants la technique de la teinture pour détecter le frelatage par le kérosène. Une observation importante a été relevée : étant donné que ces adultérants appartiennent à la même famille d'hydrocarbures que ceux dont sont issus les carburants, un certain seuil de frelatage est toujours possible sans pour autant modifier les paramètres généraux des spécifications du carburant. Il n'est donc pas toujours possible de les détecter à l'aide des méthodes d'essai normalisées préconisées par les spécifications nationales (Bureau of Indian Standards) ;

## Effet de la qualité et la quantité du lubrifiant sur la réduction des émissions de PM



JASO FB: Huile à indice de fumée élevé  
 JASO FC: Huile à faible indice de fumée

Utilisation d'un convertisseur catalytique à oxydation

Source: JAMA

**Fig. 13**  
*Effet de la qualité et la quantité du lubrifiant sur la réduction des émissions de PM.*

Source : Iyer N. V. « Management on In-use Motorcycle Emissions – The Indian Experience », Atelier sur le contrôle des émissions de Motocyclettes : expériences vietnamienne et internationale, Hanoi, Viêt Nam, 6 mars 2007, <http://www.theicct.org>

### Encadré 3 : Améliorer l'utilisation des lubrifiants

Synthèse, Atelier régional 2001, <http://adb.org/vehicle-emissions>

- Les données disponibles indiquent que pour les moteurs à deux temps, la plupart des émissions d'hydrocarbures, très élevées, sont composées de carburant imbrûlé. De même, une composante majeure des émissions de particules et qui au passage apparaît comme une « fumée blanche », est composée de lubrifiant imbrûlé. L'interdiction de la vente de vieux lubrifiants pour moteurs à deux temps peut réduire considérablement la concentration de particules PM émises et les émissions de fumée.
- L'abaissement de la teneur en benzène de l'essence permet de réduire la teneur en benzène des hydrocarbures dans les gaz d'échappement et donc de réduire la toxicité de ceux-ci. Par conséquent, certains pays ont besoin de mieux réguler la teneur en benzène de l'essence pour réduire ce risque toxique.
- Afin de pouvoir utiliser des catalyseurs pour réduire les émissions des moteurs à deux temps, l'utilisation de carburant sans plomb est nécessaire. En outre, les performances du catalyseur ne peuvent être optimisées qu'avec l'existence d'un niveau très faible de soufre dans le carburant.
- Les mélanges oxygénés dans l'essence réduisent les émissions de CO des moteurs à deux temps. Les émissions de CO et de HC peuvent être considérablement réduites avec des mélanges oxygénés dans les véhicules équipés de convertisseurs catalytiques.
- Les émissions de fumée, d'hydrocarbures et de particules des moteurs à deux temps ne font qu'augmenter à mesure que la consommation d'huile lubrifiante augmente. La mise à disposition de pré-mélanges d'huiles et de carburant dans les stations de distribution contribuerait énormément à lutter contre une utilisation démesurée de cette substance. D'autres références recommandent l'utilisation d'une pompe à huile séparée, ce qui pourrait contribuer à en optimiser la consommation. Tout en fournissant une bonne lubrification, cela conduirait à des niveaux moindres d'émissions.
- Les huiles à haut rendement pour moteurs à deux temps, qui permettent des ratios requis d'huile/carburant encore plus bas, permettraient de réduire encore plus les émissions concomitantes de fumées et de particules ; l'utilisation d'huiles minérales dont la composition n'inclut pas un ensemble d'additifs indiqués devrait être bannie.
- Des huiles lubrifiantes de qualités supérieures telles que la « JASO FC » peuvent également réduire les émissions de fumées.

Tableau 4 : Les prix au détail des lubrifiants en Inde, mars 2000 (roupies indiennes)

Lubrifiant	Prix du lubrifiant par litre	Prix de 3 % d'huile/litre d'essence	Prix de 6 % d'huile/litre d'essence
Huile pour moteur à deux temps qui remplit le standard JASO FB	80 – 90	2,4 – 2,7	4,8 – 5,4
Huile pour moteur à deux temps qui remplit le standard API TC et JASO FC	100 – 120	3,0 – 3,6	6,0 – 7,2
Huile de carter qui remplit le standard API SC <sup>a)</sup>	80 – 90	2,4 – 2,7	4,8 – 5,4

Kojima *et al.*, 2000

Note : a) API SC est un standard d'huile de carter pour les véhicules essence à moteur à 4-temps

et il y a besoin de recourir à des tests plus sophistiqués, tels que la chromatographie des gaz. (<http://www.cseindia.org>)

## Améliorer l'utilisation du lubrifiant

### Normes pour les lubrifiants

Au milieu des années 1980, l'Institut Américain du Pétrole (API) et le Conseil Européen de Coopération pour le Développement des Tests de Performance pour les Carburants de Transport, les Lubrifiants et autres Fluides ont établi une liste des lubrifiants utilisés pour les moteurs à deux temps et produit une classification pour ces derniers par leur performance et leurs services. L'API a rendu obsolète ce système en 1993 pour se rapporter aux spécifications mondiales de l'ISO et de l'Organisation des Normes Japonaises (JASO). Néanmoins, les distributeurs de carburants continuent de se référer aux normes API TC annulées pour certifier les huiles refroidies par air. La classification API TC représente actuellement le niveau le plus faible acceptable relativement à la qualité des huiles 2T.

En 1990, la JASO a créé une norme spécifique aux lubrifiants utilisés dans les moteurs à deux temps avec trois niveaux de qualité (FA, FB et FC). La lubricité et la qualité de détergence augmentent de FA à FC ; de même que le blocage des échappements et les émissions de fumées qui s'améliorent. Les niveaux maximums admissibles pour la densité de fumée sont de 50 % pour l'huile FA, de 44 % pour l'huile FB, et de 24 % pour l'huile FC. Les constructeurs japonais de véhicules à moteur à deux temps identifient le niveau FC (lubrifiants à faible fumée) comme exigence minimale.

Depuis avril 1999 en Inde toutes les huiles pour moteurs à deux-temps commercialisées dans le pays sont tenues de respecter à la fois les spécifications de l'API TC et celle de la FC/JASO (en d'autres termes, seules les huiles lubrifiantes à faible fumée peuvent être utilisées en Inde). En outre, et selon une notification du Ministère de l'Environnement et des Forêts publiée en décembre 1998, l'huile 2T ne peut être vendue dans le périmètre de la capitale nationale Delhi que scellée dans des emballages ou pré-mélangée à l'essence et distribuée à la pompe. Cette interdiction de vente non scellée est destinée à décourager la vente des huiles à moteurs recyclées ou inadaptées. La vente d'essence pré-mélangée a pour objectif de

permettre l'utilisation d'une huile 2T non seulement avec une qualité adaptée, mais également avec un dosage approprié. Le Gouvernement indien, par le biais d'une notification récente publiée en novembre 2006, a étendu à 16 autres villes le règlement relatif à un approvisionnement en huile 2T uniquement sous une forme pré-mélangée<sup>[2]</sup>.

### Utilisation de la concentration adéquate de lubrifiant

L'utilisation de l'huile 2T à la quantité adéquate réduit significativement les émissions des véhicules à moteur à deux temps. De nouvelles formules de lubrifiants permettent même à certaines marques de deux-roues de réduire le taux exigé de lubrifiant à peine 1 %.

### Utilisation du lubrifiant à faible fumée

L'utilisation du lubrifiant à faible fumée réduit de manière significative les émissions de fumée visibles. Les prix de détail pour lubrifiants observés en Inde en mars 2000 sont indiqués dans le Tableau 4. Si les conducteurs utilisant actuellement 6 % d'huile JASO FB réduisaient cette quantité à 3 % et basculaient en même temps vers une huile JASO FC (lubrifiant à faible fumée), ils pourraient réaliser des économies d'environ 35 % de leurs dépenses.

A Bangkok, plusieurs motocyclettes avec différents niveaux d'émissions de fumée visible ont été sélectionnées pour des tests afin d'étudier la corrélation entre cette dernière et les émissions de particules. Les résultats ont démontré une faible corrélation. Les tests plus récents effectués par l'ARAI sur trois bébés-taxis en marche à Dhaka ont également démontré cette faible corrélation se chiffrant à un ratio en dessous de 1 g/km (Kojima *et al.*, 2002).

Les données limitées collectées dans le cadre de ces études sur l'impact sur les émissions de particules de l'utilisation d'un lubrifiant à faible fumée à la place d'une huile 2T régulière indiquent que : bien que le lubrifiant à faible fumée réduise effectivement la fumée visible, il ne peut pas réduire les émissions

<sup>[2]</sup> GSR 714(E), Ministère de l'Environnement et des Forêts, Gouvernement de l'Inde, 17 novembre 2006 et GSR 778 (E), Ministère de l'Environnement et des Forêts, 31 décembre 1998.

de particules, sauf si on le compare à une huile minérale ordinaire. Ainsi, l'éventuel bienfait sur la santé publique de l'utilisation des lubrifiants à faible émission de fumée n'est pas encore avéré. D'autres études, en particulier celles menées au Japon, montrent que pour réduire significativement les émissions de PM des véhicules à moteur deux temps, il faudrait utiliser simultanément un lubrifiant à faible fumée (catégorie JASO FC) – dans des proportions plus faibles que d'habitude, soit 1 % du carburant au lieu de 2 %, ainsi que des convertisseurs catalytiques à oxydation – émettant moins de CO et d'hydrocarbures. Ces mesures peuvent entraîner une réduction des émissions de PM jusqu'au dixième du niveau incontrôlé (Iyer, 2007).

### **Dosage du lubrifiant**

Il existe des systèmes de lubrification mécaniques qui permettent de contrôler et de doser la quantité de lubrifiant à injecter dans le carburant en fonction de la vitesse et de la charge du moteur. De tels systèmes réduisent les émissions et rendent, de fait, impossible l'ajout non maîtrisé de quantités excessives de lubrifiant à l'essence. Ceci dit, la lubrification mécanique ne donne pas plus de bénéfices qu'un ajout contrôlé et conscient de lubrifiant par les conducteurs eux-mêmes.

### **Améliorer l'entretien**

L'importance d'un programme de contrôle et d'entretien efficace des véhicules ne peut jamais être surestimée : un entretien adéquat est essentiel pour tirer pleinement parti des investissements faits pour l'atténuation des émissions (voir aussi Module 4b : *Inspection, entretien et état technique*). De simples procédures d'entretien, comme le nettoyage et le réglage du carburateur, le réglage du système d'allumage, le nettoyage et le réglage ou le remplacement des bougies d'allumage, et le nettoyage des filtres à air, peuvent réduire de manière significative les émissions d'échappement. Les filtres à air doivent être nettoyés ou remplacés chaque 3 000 km. Les carburateurs doivent être réglés et nettoyés tous les 3 000 km pour les moteurs à deux temps et tous les 5 000 km pour les moteurs à quatre temps.

Puisque le lubrifiant fonctionne avec « perte totale » (ie. utilisé une seule fois) dans le moteur à deux temps, il y a beaucoup plus d'accumulation

de dépôts carbonés dans la chambre de combustion et au niveau de l'orifice et du silencieux d'échappement, qu'il n'y en a dans les moteurs à quatre temps. En conséquence, une « décarbonisation » fréquente est nécessaire. Bajaj Auto recommande une « décarbonisation » tous les 6 000 km pour les trois-roues et tous les 9 000 km pour les scooters. Les moteurs à quatre temps ne nécessitent normalement pas de « décarbonisation ». Bajaj Auto recommande aussi de remplacer les bougies tous les 7 500 km pour les moteurs à deux temps et tous les 10 000 km pour les moteurs à quatre temps. La « décarbonisation » est un processus qui nécessite essentiellement de la main d'œuvre ; ressource relativement accessible dans les villes en développement, ce qui permet de maintenir les coûts d'entretien faibles.

On ne sait pas très bien si les coûts d'entretien à long terme sont plus élevés pour les moteurs à deux temps que pour ceux à quatre temps. Les moteurs à quatre temps ont beaucoup plus de pièces mobiles (les soupapes, les arbres à cames, les chaînes de distribution, les pompes à huile), et qui sont relativement coûteux car commercialisés principalement chez les constructeurs automobiles eux-mêmes. En revanche, les pièces détachées pour moteurs à deux temps sont vendues par un grand nombre de fournisseurs de pièces. Le coût du travail pour l'entretien des moteurs à quatre temps est également plus élevé en raison d'un niveau de compétences requis plus exigeant. Cependant, la révision des moteurs à deux temps coûte plus cher. Les révisions mineures des moteurs ne sont en effet pas exigées pour les moteurs à quatre temps en principe ; elles sont par contre imposées pour les moteurs à deux temps tous les 30 000 km. Les révisions majeures, qui peuvent également être nécessaires pour les moteurs à quatre temps, sont exigées tous les 90 000 km pour les trois-roues à moteurs à deux temps.

### **Programmes de mise en conformité :**

L'installation de dispositifs de maîtrise des émissions tels que les convertisseurs catalytiques sur les véhicules à essence ou les filtres à particules sur les véhicules diesel, a été introduite avec succès dans certains pays. Peu de succès a été noté pour les programmes de rénovation des deux et trois-roues ; à part pour la reconversion des trois-roues au GNC ou au GPL. Récemment, « Envirofit », une organisation

à but non lucratif, a poursuivi un programme novateur dans la ville indienne de Pune qui a eu pour objet d'équiper les pousse-pousse à moteur à deux temps d'un kit d'injection directe en lieu et place du carburateur classique. Les résultats réels obtenus sur une période d'observation de six mois, et sous un régime normal, ont démontré des réductions significatives à plusieurs niveaux : 35 % de réduction dans la consommation de carburant ; 54 % dans la consommation de pétrole ; 61 % des émissions de CO ; et 74 % dans les émissions de HC + NO<sub>x</sub> (Nathan, 2008). De précédentes études menées par Envirofit sur les tricycles aux Philippines ont noté une amélioration similaire de l'efficacité énergétique et des niveaux d'émission du CO, des hydrocarbures et des NO<sub>x</sub> a été observée (Tim, Nathan, Bryan, 2004). En raison du gros avantage en termes d'efficacité de la consommation de carburant, la rénovation – en dépit de son coût élevé – pourrait être une solution intéressante pour les trois-roues. Actuellement, des travaux sont en cours pour le lancement d'un module de référence sur l'adaptation de ces technologies et méthodes.

### 3.5 Les alternatives aux moteurs essence à deux temps

Des technologies alternatives pour remplacer les véhicules à moteur essence à deux temps existent et peuvent réduire les émissions d'échappement. Ces alternatives plus propres comprennent les moteurs à quatre temps ainsi que les moteurs propulsés par GPL, GNC ou par énergie électrique.

La propulsion par GPL ou GNC ainsi que les véhicules électriques sont discutés ici brièvement, puisque ces solutions font l'objet de modules spécifiques : Module 4a : *Carburants plus propres et technologies des véhicules*, et Module 4d : *Véhicules au gaz naturel*. En outre, une partie de ce module aborde également les impacts environnementaux des vélos électriques en Chine.

#### Les moteurs essence à quatre temps

Les véhicules à moteur à quatre temps possèdent d'importants avantages sur leurs équivalents à deux temps. Ceux-ci incluent :

- Une meilleure économie du carburant ;



- Beaucoup moins de pollution atmosphérique (PM, HC, CO<sub>2</sub>, mais des émissions de NO<sub>x</sub> plus élevées cependant) – le label « green product » pour la pollution locale et globale ;
- Beaucoup moins de pollution sonore ;
- Les motocycles à moteur à quatre-temps ne sont pas beaucoup plus chers sur le marché par rapport aux modèles à deux temps. Le coût d'un moteur à quatre temps est d'environ 15 % supérieur à celui d'un moteur comparable à deux temps, mais ces différences ne sont pas souvent reflétées dans les prix du marché en raison de considérations de concurrence ;
- Une technologie mature.

Si l'essence est retenue comme le combustible de choix, le remplacement des véhicules à deux temps par les véhicules à quatre temps permettrait de réduire considérablement les émissions des hydrocarbures (Figure 14) et des particules (Figure 15). Toutefois, les émissions d'oxyde d'azote seraient augmentées.

Il n'y a pas de pertes de balayage (scavenging losses) dans les moteurs à quatre temps ; un pourcentage beaucoup plus élevé du carburant est brûlé dans la chambre à combustion, ce qui résulte en une efficacité de consommation du carburant supérieure de 10 à 20 % (Tableau 5). Les économies réalisées grâce à une meilleure économie du carburant pourraient compenser facilement le prix d'achat plus élevé

Fig. 14

*Pratiques de lubrification inadéquates qui mènent à l'émission d'une fumée blanche dans les motocyclettes à moteur à 2-temps.*

Karl Fjellstrom, décembre 2001, Kuala Lumpur

## Encadré 4 : Les programmes de reconversion énergétique pour les deux et trois-roues

Synthèse, Atelier régional 2001, <http://adb.org/vehicle-emissions>

- Des carburants alternatifs et des technologies automobiles de pointe offrent des possibilités de réductions significatives des émissions des deux et trois-roues et une augmentation importante de leur efficacité. Les différents carburants et technologies alternatifs sont à divers stades de maturité, chacun avec des performances et des caractéristiques d'émission spécifiques.
- Les deux-roues ne sont pas considérés comme des candidats intéressants pour la reconversion aux carburants alternatifs ; et il y a eu très peu d'efforts couronnés de succès à ce jour dans ce sens, à l'exception notable des motos électriques.
- En ce qui concerne les trois-roues, les reconversions au GPL et au GNC ont été établies en tant que technologies viables. Par exemple, les tuk-tuks de Bangkok fonctionnent avec succès au GPL depuis de nombreuses années, de même que les trois-roues fonctionnent de manière tout à fait satisfaisante au GNC en Inde.
- Pour réduire les émissions de particules et de HC, la meilleure manière de procéder pour les trois-roues est de convertir leurs moteurs deux temps à essence actuels en moteurs quatre temps fonctionnant au GNC ou au GPL.
- A l'heure actuelle, la reconversion des trois-roues au GNC ou au GPL est un marché de niche avec un nombre limité de véhicules concernés. La taille du marché dépend du nombre de véhicules à trois roues existant dans une région donnée, mais également de l'infrastructure de distribution du carburant disponible.
- L'intégration des dispositifs de reconversion et des systèmes à carburants alternatifs doit être soumise à un processus de validation préalable, fondé sur les caractéristiques des véhicules qui seront amenés à être transformés ; des procédures de contrôle qualité devraient également être mises en place en accompagnement des opérations de reconversion.
- Un programme de reconversion aux carburants alternatifs repose sur un programme efficace d'essais et tests en condition réelle, et ce afin d'assurer que les reconversions individuelles soient effectuées correctement et que les véhicules soient ensuite entretenus et utilisés correctement.
- Un programme de reconversion aux carburants alternatifs exige une participation active du gouvernement afin d'assurer la sécurité des véhicules modifiés ainsi que le système de ravitaillement en carburant. Au-delà des aspects de sécurité, le gouvernement a en effet la responsabilité de s'assurer qu'une infrastructure adéquate de distribution des combustibles est fournie. Cela inclut de s'assurer qu'il y aura une quantité suffisante de carburant pouvant être largement distribuée dans toute la zone géographique concernée, et que les stations-service seront conçues et aménagées de manière adéquate facilitant ainsi l'accès aux véhicules individuels.
- Il y a en outre un grand besoin d'amélioration des aspects de coordination au sein du gouvernement, ainsi qu'entre le gouvernement et les secteurs de l'énergie et de l'industrie automobile.
- Il existe par ailleurs un obstacle majeur pour l'utilisation de carburants alternatifs : la nécessité de fournir une infrastructure de distribution adéquate. Les gouvernements et le secteur de l'énergie doivent élaborer des politiques rationnelles pour le développement d'une telle infrastructure ainsi que l'ensemble des services de soutien nécessaires.
- Pour faciliter l'introduction des carburants alternatifs, les considérations techniques et financières [prix] doivent être traitées simultanément.
- La prise de décision concernant les carburants alternatifs devrait être fondée sur une analyse complète sur tout le cycle de vie du combustible. Les résultats de cette évaluation devraient être appliqués à un cadre stratégique qui intégrerait les considérations énergétiques, environnementales et de transport.
- L'élaboration des politiques sur les carburants alternatifs devrait d'abord se concentrer sur le GPL et le GNC entre autres, qui sont les plus prêts actuellement pour une utilisation à grande échelle.
- L'impact des émissions des combustibles alternatifs dans une zone urbaine est largement tributaire de la technologie des véhicules ou celle des moteurs, ainsi que de l'état d'entretien des véhicules. De façon générale, les moteurs originellement conçus pour un fonctionnement au GNC ou au GPL exclusivement sont généralement plus propres, plus sûrs et plus efficaces que les moteurs qui ont été modifiés.

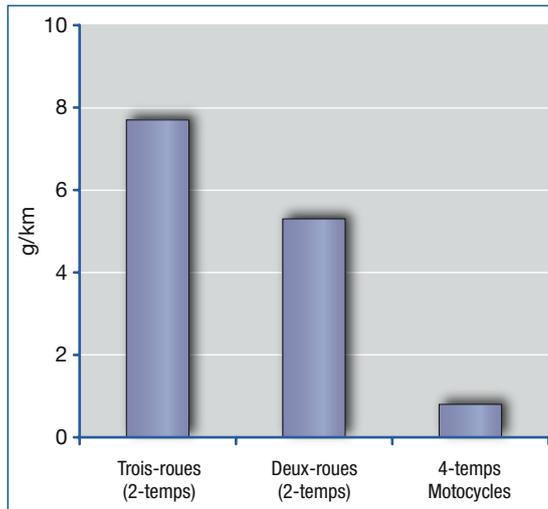
des véhicules à moteur à quatre temps, en faisant un moyen potentiel et efficace pour réduire la pollution.

Les deux-roues à moteur à quatre temps existent sur le marché depuis un certain temps déjà. Toutes les motocyclettes vendues aux États-Unis sont des conceptions à quatre-temps. Mishuk au Bangladesh commercialise des trois-roues à moteur à quatre temps depuis un certain nombre d'années. Les trois-roues à moteur à quatre temps n'ont été disponibles en Inde qu'à partir du milieu de l'an 2000, lorsque Bajaj Auto a commencé à les commercialiser. Les trois-roues du modèle 2000 sont équipés de convertisseurs catalytiques pour les moteurs à deux temps et à quatre temps. Au moment du lancement, les prix à l'ex salle d'exposition de Delhi étaient de 66 579 Rs pour les trois-roues à deux temps et de 70 463 Rs pour les trois-roues à quatre temps ; soit avec une différence de prix de 3 884 Rs (88 USD). Même si les prix réels de ces véhicules subissaient des changements au fil des années, le coût additionnel du véhicule à quatre temps sur le véhicule à deux temps resterait dans la même proportion. Ce surcoût est de plus récupéré facilement au travers des économies de carburant, et ce en moins d'une année par les opérateurs des pousse-pousse à moteur à quatre temps.

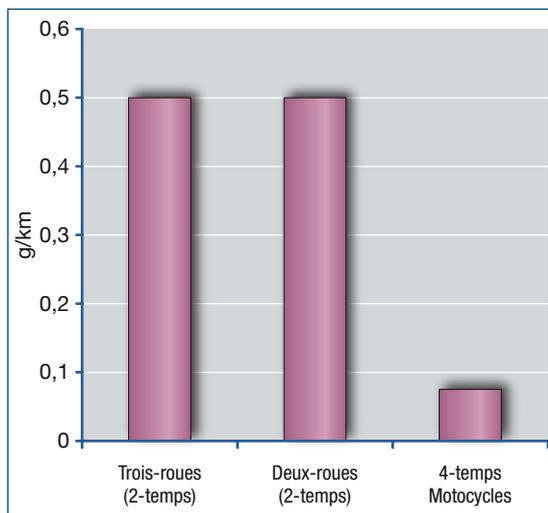
Les trois-roues roulant au diesel ont une efficacité de consommation encore plus élevée que les véhicules à moteur essence à quatre temps. De plus, et parce qu'ils sont conçus sur la base d'un modèle de moteur à quatre temps, aucun lubrifiant n'a besoin d'être ajouté au carburant. Les trois-roues roulant au diesel en Inde sont également fabriqués pour répondre aux normes d'émissions des particules. Cependant, il a été découvert récemment que les échappements du diesel sont plus toxiques que ce que l'on croyait jusqu'alors. Et les trois-roues diesel sont beaucoup plus bruyants que les trois-roues essence. Les moteurs diesel ne sont donc probablement pas une bonne alternative aux moteurs à deux temps propulsés par l'essence.

**Les véhicules propulsés par le gaz de pétrole liquéfié (GPL)**

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) est un mélange d'hydrocarbures légers, principalement du propane/propène et du butane/butène. Il est plus facile à distribuer et à stocker que le gaz naturel comprimé (GNC), liquéfié à des pressions de 4 à 15 bars.



**Fig. 15**  
Facteurs d'émission des hydrocarbures : moteurs à deux temps vs. moteurs à quatre temps.  
Shah, 2001



**Fig. 16**  
Facteurs d'émission des particules fines PM<sub>10</sub> : moteurs à deux temps vs. moteurs à quatre temps  
Shah, 2001

**Tableau 5 : Économies de carburant pour véhicules à moteur à deux temps et à quatre temps**

Type de véhicule	Type de moteur	Modèle	Cylindrée (cm <sup>3</sup> )	Économie de carburant par test en laboratoire (km par litre)	Économie de carburant sur route (km par litre)
Scooter	2-temps	Post-1996	150	55	52
Scooter	4-temps	Post-1996	150	62	59
3-roues	2-temps	Pre-1996	150	24	20
3-roues	2-temps	Post-1996	150	28	25-27
3-roues	4-temps	2000	175	33	30-31

Source : Banque mondiale 2000, tests de l'ARAI sur des véhicules Bajaj utilisant le cycle de conduite indienne;  
Tests en laboratoire – Bajaj;  
Estimations de l'ARAI et Bajaj pour les économies de carburant sur route.

Le GPL est un carburant beaucoup plus propre que l'essence automobile. Si les véhicules roulant au GPL (ou au GNC) sont conçus avec un modèle de moteur à deux temps, la mesure et l'adjonction de lubrifiants est une contrainte qui continuera à être posée, affectant ainsi partiellement le gain en terme d'émissions du au remplacement de l'essence par un carburant gazeux. Puisque le lubrifiant ne peut être mélangé physiquement au GPL, il est dosé à l'intérieur du moteur ; ce qui élimine déjà la possibilité d'une lubrification en quantité excessive. Le GPL contient également moins d'hydrocarbures hautement réactifs et possède une plus faible teneur en soufre que l'essence ou le diesel. Il contient cependant des oléfines légères ; hydrocarbures hautement réactifs qui augmentent les émissions et baissent le ratio de compression à détonation limitée, ce qui diminue la performance du moteur.

Les trois-roues roulant au GPL, appelé « tuk-tuks », sont largement utilisés en Thaïlande. Jusqu'à l'an 2000, l'utilisation du GPL comme carburant pour les véhicules était illégale en Inde car largement utilisé comme combustible de cuisine et attirant en conséquence une subvention gouvernementale importante. Toutefois, le gouvernement indien l'a légalisé depuis qu'il est utilisé en tant que carburant automobile, et a fait des efforts pour le populariser comme une alternative non polluante. Toutes les grandes compagnies pétrolières en Inde – la plupart d'entre elles appartiennent au gouvernement

– ont élaboré des plans pour installer des stations de distribution de GPL dans les grandes villes du pays. Même s'il n'est pas aussi performant que le GNC, le GPL a des caractéristiques antidétonantes supérieures par rapport à l'essence. Le propane a un indice antidétonant (moyenne du RON et du MON) de 104, permettant aux moteurs propulsés par GPL de fonctionner à des taux de compression légèrement supérieurs à ceux des véhicules à essence. Un indice d'octane moteur (MON) minimal de 88 est spécifié à cet effet pour le GPL.

Bien qu'il soit techniquement possible d'employer le GPL comme carburant pour les deux-roues, la quantité de GPL qui peut être transportée à bord est inférieure à la quantité de carburant liquide en termes de contenu énergétique. Ceci impose une restriction à la portée du véhicule nécessitant un ravitaillement plus fréquent. Cette limitation est particulièrement sévère sur les deux-roues tels que les cyclomoteurs et les motos, mais l'est moins pour les scooters qui, eux, sont munis d'un espace de stockage supplémentaire.

Les principaux inconvénients de l'introduction du GPL dans le secteur du transport dans de nombreuses villes en développement sont liés au manque de ressources d'approvisionnement locales suffisantes, un système de distribution inadéquat, ainsi qu'un manque d'investissement dans les stations-services. Le Pakistan et le Sri Lanka importent environ 30 à 40 % de leur consommation en GPL. En Inde, la production nationale actuellement équivaut tout juste à la consommation de ce produit en tant que combustible de cuisine et la majorité du GPL automobile est importée. Il y a également besoin d'investir dans le matériel de ravitaillement permettant de transférer le GPL pressurisé des réservoirs de stockage aux véhicules avec un minimum de déperditions.

#### **Les véhicules propulsés par le gaz naturel comprimé (GNC)**

Le passage au GNC permet de réduire les émissions d'hydrocarbures et de particules de manière significative. De plus, la combustion du gaz naturel comprimé ne donne pratiquement pas de composés organiques volatiles ni d'émissions d'oxydes de soufre. En outre, et puisqu'il est plus léger que l'air, le GNC ne coulera pas sur le sol en cas de fuite, il

**Fig. 17**  
*Les tuk-tuks traditionnels de Bangkok fonctionnant au GPL.*

Karl Fjellstrom, 2001



n'entrera pas non plus dans les systèmes d'égouts. Le GNC est coûteux à distribuer et à stocker, exigeant une pression de compression à environ 200 bars.

Le Bangladesh et le Pakistan testent tous deux l'utilisation du GNC pour les véhicules à moteur. Au Bangladesh, un programme pilote financé par l'Agence canadienne pour le Développement International, a transformé quatre trois-roues à mi 2000 au GNC. En septembre 2002, plus de 2 000 conversions avaient été effectuées (Clean City Vehicles Workshop, IEA, Paris, 24-25 sept. 2002). Au Pakistan, un programme financé par des donateurs prévoit de tester cette solution sur 10 à 30 véhicules à Karachi, Lahore, et Quetta. Dans les deux programmes, un réservoir de GNC offre une autonomie d'environ 100 km. Bajaj Auto en Inde a développé un modèle de véhicule à trois-roues propulsé par GNC sur la base d'une conception inspirée du moteur à quatre temps ; ce véhicule a été lancé – au milieu de l'an 2000, et est fabriqué en série depuis lors ; « Plus de 38 000 de ces véhicules sont en circulation actuellement dans la ville de Delhi et 15 000 dans la ville de Mumbai. Près de 10 000 sont également présents à Dhaka, au Bangladesh ».

Comme dans le cas du GPL, l'utilisation du GNC comme carburant pour les deux-roues impose une limitation de la portée du véhicule. La restriction est encore plus sévère que pour le GPL puisque le GNC est stocké sous forme gazeuse à une pression de 200 bars et la quantité stockée en termes d'énergie équivalente est inférieure à celle du GPL.

Les véhicules peuvent être conçus pour fonctionner soit au GNC soit à l'essence. Quand ils ne sont pas optimisés pour un fonctionnement au GNC, ils en font de fait un usage moins efficace, et perdent entre 10 et 15 % de leur puissance. L'efficacité est également altérée en raison du poids supplémentaire de transport de deux systèmes de carburant.

Le méthane, composant essentiel du GNC, possède un indice antidétonant de plus de 120. Les véhicules fonctionnant au GNC peuvent ainsi profiter d'un indice d'octane du carburant élevé et fonctionner à un taux de compression élevé. Dans la pratique, la composition du produit au gazoduc varie en fonction de son origine, du traitement opéré ainsi que de la période de l'année. En conséquence, non seulement la valeur de l'indice d'octane du carburant peut varier, mais également la valeur calorifique avec

des intervalles de variation pouvant atteindre 25 % ; ce qui peut affecter les performances du véhicule.

En outre, lorsque le GNC est utilisé comme carburant automobile, les hydrocarbures plus lourds qu'il contient peuvent se condenser et se vaporiser de nouveau, affectant ainsi le niveau d'enrichissement du combustible. Des changements dans ce niveau d'enrichissement touchent à la fois les émissions et les performances du moteur. La teneur en eau du gaz naturel est également un sujet de préoccupation en raison de sa tendance à former des hydrates solides et de corroder les tuyaux de transport, les réservoirs de stockage des véhicules et les stations de ravitaillement.

La viabilité à long terme des véhicules roulant au GNC dépend d'un cadre législatif et réglementaire favorable et d'une imposition sur les prix des carburants qui ne soit pas faussée par les subventions. Les efforts visant à encourager l'achat des véhicules fonctionnant au GNC grâce à des subventions ne sont pas durables, comme l'a démontré la tentative échouée en Nouvelle-Zélande. La Nouvelle-Zélande a mis en place un programme agressif d'incitations financières, y compris de subventions, afin de porter la conversion de 110 000 véhicules au gaz naturel entre le début des années 1980 et 1986. Cependant, et depuis que le gouvernement a retiré son aide, le marché des véhicules fonctionnant au GNC est essentiellement mort : seuls environ 10 000 véhicules restent aujourd'hui en circulation. Comme souligné par l'Association Internationale des Véhicules fonctionnant au Gaz Naturel :

« Les gouvernements qui croient que tout ce dont ils ont besoin est d'un coup de pouce pendant deux à trois ans perdent leur temps et leur argent (Cumming, 1997 à la Banque mondiale, 2000). »

Pour que la conversion au gaz naturel fasse sens économiquement parlant, le prix de vente au détail du GNC doit chuter à environ 55 à 65 % du coût du carburant qu'il doit remplacer. Sans des prix systématiquement bas, la promotion de véhicules roulant au GNC ne sera pas durable. Mais les gouvernements ont tendance à fuir la réduction des prix à la pompe car cela réduirait leurs recettes fiscales, dans la mesure où les consommateurs passeraient des carburants classiques (imposables) aux combustibles GNC (essentiellement non taxés).

**Les gouvernements qui croient que tout ce dont ils ont besoin est d'un coup de pouce pendant deux à trois ans perdent leur temps et leur argent.**

*Cumming, 1997, la Banque mondiale, 2000*

Dans des pays comme l'Inde qui va bientôt commencer à importer du gaz naturel liquéfié (GNL) à grande échelle ([une source de gaz naturel à l'avenir]), il sera difficile de maintenir les prix du GNC beaucoup plus bas que ceux de l'essence si le cours mondial du pétrole brut chutent fortement. Les découvertes récentes de grands gisements de gaz naturel dans le bassin de Krishna-Godavari au large de la côte orientale du pays, et qui pourraient entrer en production au cours des prochaines années, peut toutefois changer radicalement la structure des prix du GNC et les plans d'importation du GNL.

En revanche, le Bangladesh – possédant de grandes réserves de gaz naturel et de grands réseaux de gazoducs dans les grandes villes – peut être en mesure d'introduire le GNC dans le secteur des transports sans nuire à d'autres exigences de l'économie du pays. Le gaz naturel est effectivement subventionné au Bangladesh. En 1998, le prix du gaz naturel avait été en effet estimé à environ 25 % de

moins en moyenne par rapport à son coût d'option. Mais une fois le secteur restructuré pour refléter les prix réels du marché, l'économie des véhicules roulant au GNC deviendra moins favorable que ce qu'elle ne l'est aujourd'hui ; c'est une chose qui doit être étudiée si jamais un programme favorisant cette énergie alternative devait être développé.

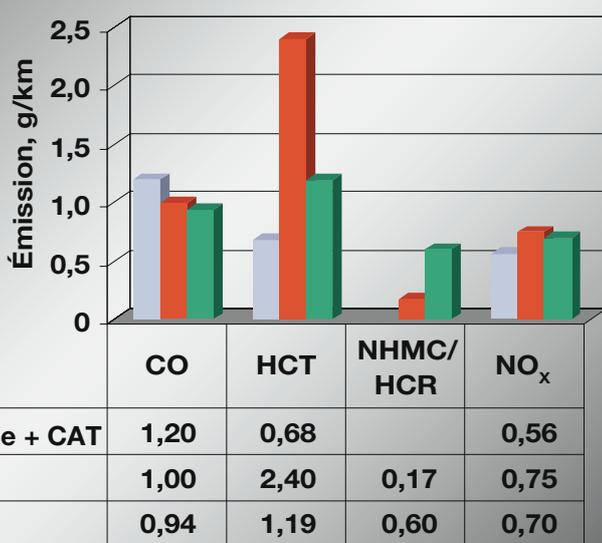
**Les caractéristiques d'émission des véhicules à moteur GNC et GPL**

On croit souvent que l'utilisation du GNC ou du GPL contribue d'une manière significative à la réduction de la plupart des émissions. Cependant, les résultats réels dépendent du type de moteur. La conversion d'un moteur diesel au GNC ou au GPL est une transformation qui réduit significativement les émissions de particules et d'hydrocarbures. Toutefois, les améliorations sont limitées quand c'est un moteur originellement essence. Les caractéristiques d'émission comparatives des trois-roues indiens alternativement propulsés par GNC, GPL et essence sont montrées dans la Figure 18 (Iyer, 2004).

Le modèle essence est équipé d'un convertisseur catalytique. On voit qu'il y a une réduction d'environ 20 % des émissions de CO à la fois avec le GNC et le GPL par rapport au fonctionnement à l'essence. Les émissions de NO<sub>x</sub> sont supérieures d'environ 30 % avec le GNC et le GPL par rapport au modèle essence. Les émissions d'hydrocarbures

totaux (HCT) semblent par contre augmenter significativement. Cependant, les émissions du modèle GNC des « hydrocarbures non méthaniques » (NHMC) sont beaucoup plus faibles que celles des HCT émises par le modèle essence. Dans le cas du GPL, l'émission des « hydrocarbures réactifs » (HCR, considérés comme constituant environ la moitié des HCT) n'est que légèrement inférieure à celle du modèle essence. Évaluer uniquement les NHMC serait justifié du point de vue des impacts de la pollution locale sur la santé publique, bien que le méthane soit un gaz à effet de serre puissant. Le taux d'émission des NMHC est déterminé en soustrayant la teneur en méthane soit des gaz d'échappement soit du GNC directement. En outre, considérer seulement les HCR serait tout aussi justifié vu que environ la moitié des hydrocarbures volatiles

Fig. 18  
Performance comparative d'émission entre trois-roues indiens fonctionnant au GNC et ceux fonctionnant au GPL.  
Iyer N. V.



NHMC: Hydrocarbures non méthaniques  
HCR: Hydrocarbures réactifs

émis par les véhicules GPL testés sont non réactifs ; ce qui signifie qu'ils ne participent pas aux réactions photochimiques se produisant dans l'atmosphère, et de ce fait ne conduisent pas à la formation des polluants secondaires. Il serait toutefois faux d'admettre que la proportion non-réactive des hydrocarbures émis est toujours équivalente à la moitié des émissions HC pour tous les moteurs GPL. Par contre, aucune donnée n'est disponible sur les émissions de PM ; ce polluant n'est en effet pas systématiquement mesuré dans le cas des véhicules à moteurs à allumage commandé.

### Les véhicules électriques

Les véhicules électriques à trois-roues coûtent beaucoup plus cher que les véhicules à essence, ils ont des autonomies réduites, et la durée de

rechargement des batteries demande de 6 à 10 heures. A moins que des changements technologiques surviennent afin de rendre ces véhicules plus attrayants, ils ne sont pas appelés à jouer un rôle important dans les villes asiatiques en développement. Toutefois, en considérant leur potentiel, plusieurs constructeurs de véhicules en Inde font des efforts importants pour développer des véhicules électriques à trois-roues qui pourraient devenir viables sur le plan commercial dans un avenir proche. Un programme indien, survenant dans le cadre d'un partenariat public-privé impliquant l'Agence Américaine pour le Développement International, New Generation Motors (la compagnie ayant développé le système de transmission) et Bajaj Auto Ltd. (un grand constructeur de véhicules à deux et trois roues en Inde), a conduit à la

### Encadré 5 : Reconversion des trois-roues diesel en Tempos électriques à Katmandou

Le Tempo est un mode de transport public important à Katmandou. Il s'agit d'un minibus à trois roues avec une capacité de 10 passagers. Avant que le gouvernement n'ait interdit les Tempos roulant au diesel à Katmandou en 1999, il existait environ 1 500 de ces véhicules qui étaient exploités dans la ville.

Un projet pilote de reconversion des Tempos diesel à l'électricité a été réalisé en 1994–96 par le Global Resources Institute avec le soutien d'USAID. Les Tempos électriques dans le programme expérimental, appelés Safa (propre) Tempos, avaient une autonomie de 50 km et une vitesse maximale de 45 km/h. Leurs batteries pesaient 360 kg, de sorte que lorsqu'il est plein, le véhicule est exploité à sa charge maximale admissible. Les freins ont été prévus pour bien fonctionner à proximité des « limites » conçues.

Pour permettre aux véhicules de se déplacer 150 km par jour, trois ensembles d'alimentation ont été utilisés. Des arrêts spécifiques pour l'embarquement et le débarquement des passagers (un concept nouveau au Népal) ont été aménagés et indiqués afin que les véhicules puissent fonctionner sur un horaire précis. Les Safa Tempos sont

plus propres et moins bruyants que les Tempos diesel, et l'acceptation publique des véhicules s'en est accrue. La demande des passagers a souvent dépassé la capacité disponible au cours de la période d'essai.

Actuellement, plus de 600 Safa Tempos sont opérationnels à Katmandou. La plupart d'entre eux sont utilisés pour le transport en commun sur 17 trajets. L'industrie des vélos électriques au Népal se compose de 5 fabricants, 37 stations d'alimentation et plusieurs centaines de propriétaires de véhicules. Cependant, parce que le coût de fonctionnement d'un Safa Tempo est plus élevé que celui des véhicules à trois roues roulant à l'essence – ou au GPL (64 % et 88 % plus élevé, respectivement), les entrepreneurs ont du mal à survivre. Le coût d'exploitation élevé pour les véhicules électriques est principalement dû à la forte tarification de l'électricité et au coût élevé des batteries.

Sur la base de Kojima *et al.*, 2000, mis à jour de l'atelier des véhicules propres de l'AIE (agence internationale de l'énergie), Paris, 24–25 septembre 2002, Source du document : « Clean Energy Nepal », <http://www.cen.org.np>.



Fig. 19

*Le véhicule électrique à trois roues « Ecorick » développé dans le cadre du programme IZET, en cours d'exécution à Agra.*

*Le Taj Mahal est un monument de renommée mondiale à Agra. Aucun véhicule à moteur à combustion interne n'est autorisé à ses environs pour le protéger de la pollution automobile. Le véhicule « Ecorick » a été déployé spécialement pour les visiteurs à mobilité réduite. Ces deux dernières années, quelques unités de ce produit circulent avec succès à Agra pour transporter les touristes entre les différents monuments.*

Avec l'aimable autorisation de N. V. Iyer

conception d'un véhicule électrique à trois-roues prometteur. Le véhicule utilise un moteur à courant continu, sans balai, à aimant permanent et à flux axial, qui donne une efficacité améliorée au système et par conséquent une portée plus importante.

Avec une seule charge énergétique, et sur une journée typique de 10 heures, la moitié des pousse-pousse à moteur dans les villes indiennes opèrent avec une portée d'au moins égale à 80 km, dans des conditions réelles de trafic. L'autre moitié va jusqu'à 120 km dans les mêmes conditions. A la suite d'une analyse détaillée du coût du véhicule électrique sur un cycle de vie moyen, il a été démontré que ce véhicule pourrait devenir commercialement viable seulement si le coût de son système d'entraînement électrique et de tous ses accessoires pouvait aboutir à un prix de vente qui ne dépasse pas de plus de 25 % celui d'un pousse-pousse traditionnel. Il peut être possible d'atteindre cet objectif si le véhicule est fabriqué à grande échelle. Une intervention extérieure par le biais d'incitations fiscales pourrait peut-être aider à maintenir le véhicule sur le marché jusqu'à ce que les volumes d'autosuffisance soient atteints.

Les véhicules électriques fonctionnent actuellement avec des accumulateurs au plomb. Lorsque les batteries sont chargées en intérieur, une bonne ventilation

est nécessaire, car de l'hydrogène est émis en cours de rechargement. Les estimations préliminaires en Inde ont évalué le prix des batteries à environ 40 à 50 USD la pièce pour des trois-roues qui fonctionnent avec huit piles. Les huit batteries ainsi que les modifications nécessaires des véhicules devaient augmenter le coût des trois-roues électriques à 1 000 USD ; doublant ainsi le prix des véhicules par rapport à leurs modèles équivalents propulsés à l'essence.

La viabilité économique des véhicules électriques dépend en partie du prix de l'électricité. Le secteur de l'énergie est en cours de réforme ou de restructuration dans de nombreux pays en voie de développement. La viabilité à long terme des véhicules électriques devrait être évaluée en fonction des prix du marché de l'électricité.

Il est assez répandu de croire que les véhicules électriques utilisant les technologies classiques ne sont pas censés avoir des applications répandues dans les pays en développement du Sud et du Sud-Est asiatique. La Chine s'est avérée être une exception, ayant connu une croissance rapide de la popularité des véhicules électriques à deux-roues, propulsés par de petites batteries. On a estimé la production annuelle des véhicules électriques à deux-roues en Chine à plus de 20 millions de USD en 2007. Ces « vélos » sont propulsés par un moteur électrique de 250 watts, ils ont une vitesse maximale limitée à 20 km par heure et une portée de 50 à 60 km avec une seule charge. Ces véhicules existent soit sous forme de vélo, soit sous forme de scooter. Des vélos électriques, d'une conception similaire, ont également commencé à être commercialisés en Inde avec près de 22 000 unités vendues en 2006 (Source :

« The Indian Automobile Industry, Statistical Profile 2007–2008 », Society of Indian Automobile Manufacturers (SIAM)).

Les véhicules électriques à trois-roues pourraient jouer un rôle utile mais limité dans les axes extrêmement pollués. Par exemple à Katmandou, Népal, les Tempos électriques ont été introduits en 1994 (voir encadré). En 1995, le gouvernement a réduit les droits d'importation sur les composants des véhicules électriques de 60 à 5 %, et les droits sur les véhicules électriques entièrement assemblés de 150 % à 10 %. Au début de l'année 2000, environ 500 Tempos électriques étaient en circulation à Katmandou, en partie en réponse à l'interdiction des Tempos diesel imposée par le gouvernement en 1999. Sept usines ont assemblé plus de 200 Tempos électriques en 1999. Il s'agit là de la plus grande flotte au monde de véhicules électriques servant au transport public de voyageurs par la route. L'avenir n'est pas sûr, cependant, puisque le gouvernement a approuvé en mai 2000 l'importation de 300 camionnettes de 15 sièges avec les mêmes conditions d'importation préférentielles que celles accordées aux véhicules électriques.

### 3.6 Les options politiques

Un large éventail d'outils politiques est à disposition des gouvernements locaux et nationaux dans les villes en développement. Cette section décrit les politiques visant les véhicules en usage (voir encadré) et les véhicules neufs.

#### Normes

En réponse à des normes nationales plus rigoureuses que celles imposées par l'Union européenne, les constructeurs automobiles indiens ont apporté des modifications de conception aux moteurs afin de réduire leurs niveaux d'émission et leur consommation de carburant. Les « pertes de balayage » ont ainsi été réduites de façon constante ; et en l'an 2000, des convertisseurs catalytiques ont été introduits pour la première fois.

Les normes d'émission pour les véhicules à deux-roues sont très différentes. Les normes d'émission en Inde et à Taiwan (Chine) se classent aujourd'hui parmi les plus strictes au monde ; ce qui reflète la préoccupation des autorités quant au contrôle des

émissions d'une population de véhicules très étendue et populaire, en raison de leur accessibilité économique et de leur facilité de manœuvre.

Les émissions dégagées par les derniers modèles à deux temps sont nettement diminuées par la suite d'améliorations technologiques. A Taiwan (Chine) – plus grand nombre de deux-roues par habitant au monde – des normes d'émission ont été progressivement resserrées jusqu'à atteindre un niveau significativement strict. Les nouvelles normes ont été adoptées le 1<sup>er</sup> juillet 2007 et ont les mêmes valeurs limites que celles des normes Euro 3 spécifiques aux motos (Tableau 6). Les normes d'émission à Taiwan (Chine) contrôlent aussi la fumée visible ; l'opacité des fumées est limitée à 15 % pour les véhicules neufs et 30 % pour les véhicules d'occasion.

En 1996 en Inde, les constructeurs automobiles ont relevé le défi de respecter des normes d'émission plus strictes sans recourir aux convertisseurs catalytiques qui ne pouvaient pas être utilisés parce que l'essence sans plomb n'était pas encore suffisamment disponible à ce moment-là (Tableau 7). Les constructeurs ont dû compter sur les améliorations de la technologie du moteur pour répondre aux limites d'émission prescrites. Aujourd'hui, suite aux avancées technologiques continues, y compris l'installation de convertisseurs catalytiques, de nouveaux deux et trois-roues sont fabriqués en Inde, émettant moins de 8 % de la quantité de monoxyde de carbone, et moins de 18 % de celle des hydrocarbures et des oxydes d'azote émises par les modèles fabriqués en 1991. Comme à Taïwan (Chine), les normes d'émission en Inde ont été progressivement resserrées (Tableau 8).

#### Politiques focalisées sur les émissions

Les décideurs disposent de deux manières pour lutter effectivement contre la pollution : soit en fixant des seuils-limites d'émissions que les véhicules doivent satisfaire, soit en incitant à l'usage de technologies bien déterminées (carburants ou véhicules). Les mesures focalisées sur les émissions ont l'avantage d'offrir aux fournisseurs de carburants et de véhicules une plus grande souplesse ; de sorte qu'ils peuvent choisir les options les moins coûteuses pour atteindre les objectifs d'émissions prescrits. Pourvu que la conformité puisse être assurée au final, cette option est généralement moins coûteuse pour la

## Encadré 6 : Normes pour les véhicules à deux ou trois roues

Synthèse, Atelier régional, 2001, <http://adb.org/vehicle-emissions>

Les émissions des véhicules peuvent être réglementées par des normes visant les véhicules neufs ainsi que par des normes en cours pour les véhicules déjà opérationnels.

### Normes pour les véhicules neufs

- Les normes pour les véhicules neufs (fondées sur un processus de validation) ont tendance à constituer le levier principal pour stimuler l'introduction de véhicules plus propres. L'expérience a démontré à la fois dans et en dehors de l'Asie que c'était la méthode la plus efficace pour réduire les émissions moyennes au fil du temps. Actuellement, on retrouve un certain nombre de pays asiatiques qui ont adopté des normes d'homologation pour les véhicules à deux roues et dans certains cas également pour les véhicules à trois roues. Dans la plupart des cas, les normes correspondent aux normes européennes CEE (CEE ou 40, 40.01, ou 47).
- L'Union européenne et les États-Unis ont progressivement réduit les émissions des véhicules à deux roues par le biais de ces normes. Les moteurs des motocycles dans ces régions ont généralement une taille beaucoup plus grande et ils contribuent moins à la pollution atmosphérique que les motocycles en Asie. Le contrôle de ce type de véhicules en Europe et aux USA n'est donc pas une grande priorité comme elle devrait l'être en Asie.
- Il est recommandé que tous les pays adoptent des normes d'homologation pour les nouveaux véhicules à deux ou trois roues. Considérant l'importante population de ces véhicules dans la région asiatique et leur grande contribution à la dégradation de la qualité de l'air, les exigences actuelles de la CEE ne sont pas considérées comme adéquates pour protéger la santé des citoyens des villes asiatiques. Certains pays, comme l'Inde et Taïwan (Chine), ont déjà mis en place des normes strictes. D'autres pays de la région asiatique devraient aussi regarder au-delà des normes de la CEE et envisager de progresser rapidement sur la question des normes d'émission, suivant ainsi les pas de l'Inde et de Taïwan (Chine). Celles-là devraient inclure un test de démarrage à froid ainsi que des exigences à respecter par les moteurs à deux temps et qui devraient être aussi contraignantes que celles imposées aux moteurs à quatre temps.
- Les pays faisant face à de sérieux problèmes liés à l'émission de particules devraient envisager l'élaboration d'une norme spécifique pour celle-ci, vis-à-vis des véhicules à deux et trois roues. L'élaboration de telles normes spécifiques aux particules devrait être fondée sur des données scientifiques fiables, obtenues en utilisant des méthodes de mesure de particules. Elle devrait en outre être le résultat d'un processus ouvert et transparent qui impliquerait toutes les parties prenantes intéressées.
- Dans le but de minimiser le coût global du développement et de la mise en œuvre des normes d'homologation pour les véhicules à deux ou trois roues, il est recommandé que les pays s'accordent sur une conception harmonisée des règlements visant ces véhicules. Cela ne signifie pas que tous les pays doivent avoir les mêmes normes dans un intervalle de temps spécifique. Des normes devraient également être établies pour les véhicules les plus respectueux de l'environnement, et qui présentent les niveaux d'émission les plus bas techniquement réalisables. Ainsi, les véhicules répondant aux standards d'émission pourraient être encouragés par des incitations fiscales ou autres. En somme, une approche à deux niveaux est recommandée pour l'adoption des normes avec une introduction précoce de cette deuxième étape par l'adoption de mesures d'incitation fiscale ou autre. Dans une élaboration harmonisée de normes régionales, l'industrie régionale pourrait jouer un rôle important.
- Il a été suggéré qu'un projet commun ciblant les motocycles à moteur et basé sur le

développement et l'échange de technologies soit mis en place pour partager les expériences et les connaissances techniques. Par la suite, cela pourrait conduire à l'élaboration de normes communes par rapport aux émissions. Ces efforts doivent être entrepris par l'industrie régionale.

### Véhicules d'occasion

- Aussi importantes que peuvent être les normes pour les nouveaux véhicules à deux et trois roues, elles doivent être complétées pour être adaptées aux véhicules déjà en circulation dans le but de garantir que les objectifs de réduction des émissions prévus soient effectivement atteints. Les normes ciblant les anciens véhicules visent à s'assurer que ces derniers sont entretenus et conduits correctement pour tirer le maximum de bénéfices possibles des anciennes technologies avec lesquelles ils sont conçus.
- Des normes strictes pour les voitures d'occasion peuvent être utilisées pour forcer les anciens véhicules les plus polluants à être retirés ou – au moins – à être éloignés des points noirs de pollution. Ces normes devraient être fondées sur un choix rigoureux de procédures de contrôle des émissions qui faciliterait notamment l'identification précise des gros pollueurs.
- Ces normes permettent généralement de réglementer le niveau d'émission de CO admis en régime ralenti (sans transmission). Certains pays réglementent également la fumée (opacité) et/ou les niveaux de HC, qui sont tous deux des composants supplémentaires cruciaux dans une stratégie ciblant les voitures d'occasion.
- Après l'adoption de normes pour les véhicules neufs spécifiques aux émissions de PM, les pays asiatiques devraient également adopter des mesures quant aux niveaux de particules émis par les véhicules d'occasion en se basant sur des méthodes fiables.
- Dans plusieurs pays, il existe des catégories particulières de véhicules. Par exemple, le tricycle motorisé aux Philippines qui est une version modifiée d'un deux-roues. Ce véhicule est exploité d'une manière qui déroge aux exigences de performance initiales, ce qui est de nature à modifier ses caractéristiques d'émission ; c'est un réel problème qui doit être résolu. Demander aux détenteurs de ces véhicules de continuer à répondre aux exigences d'émissions du service d'origine peut permettre de résoudre ce problème. Alternativement, un ajustement des normes aux modèles modifiés pourrait également être élaboré et imposé.
- En règle générale, c'est au gouvernement national que revient la responsabilité de promulguer les normes d'émission pour les véhicules neufs. Pour les véhicules déjà en circulation, cette responsabilité pourrait être assumée par le gouvernement national ou par l'administration locale. Mais dans ce dernier cas, les normes établies ne devraient pas être moins strictes que les exigences nationales ; elles devraient même dans certains cas être plus sévères.
- L'expérience mondiale a démontré l'importance de disposer d'un cadre légal et juridique transparent pour l'élaboration de normes d'émissions qui soit favorable à une large participation des parties prenantes.
- Il y a un manque de moyen pour réguler et mettre en œuvre un système d'inspection/entretien ciblant les véhicules à deux et trois roues dans presque tous les pays de la région. Cela entrave la mise en œuvre de normes pour les véhicules d'occasion.

**Tableau 6 : Limites d'émission pour les motocycles<sup>1)</sup> à Taiwan, Chine**

Condition de test du moteur		Polluant	1 <sup>er</sup> jan. 2004	1 <sup>er</sup> jan. 2004	1 <sup>er</sup> juillet 2007	1 <sup>er</sup> juillet 2007
			2-temps (essai à froid)	4-temps (essai à froid)	<150 cc (essai à froid)	>150cc (essai à froid)
Nouveau	Test en cycle de conduite	CO, g/km	7,0	7,0	2,00	2,00
		HC, g/km	na	na	0,80	0,30
		NO <sub>x</sub> , g/km	na	na	0,15	0,15
		HC + NO <sub>x</sub> , g/km	1,0	2,0	na	na
	Test en régime ralenti	CO, (%)	3,0	3,0	3,0	3,0
		HC, ppm	2 000	2 000	1 600	1 600
En usage	Régime ralenti	CO, (%) <sup>2)</sup>	3,5	3,5	3,5	3,5
		HC, ppm	2 000	2 000	2 000	2 000

Source : Iyer N. V. « Management of In-Use Motorcycle Emissions – the Indian Experience »  
Inspection, Entretien et autres programmes pour Motocycles, Hanoi, Viêt Nam,  
6 mars 2007, <http://www.theicct.org>

Note : Les valeurs moyennes obtenues pour les moteurs testés à froid, de CO et HC + NO<sub>x</sub>, sont équivalentes à 2,5 fois celles obtenues pour les moteurs testés à chaud.

<sup>[1]</sup> Inclut les scooters et les mobylettes.

<sup>[2]</sup> Limites pour les conditions de test des moteurs à chaud.

**Tableau 7 : Normes d'émission pour les véhicules à deux et trois roues propulsés par l'essence en Inde, 1991-2000 (grammes par kilomètre)**

Année	Deux roues		Trois roues	
	Monoxyde de Carbone	Hydrocarbures et oxydes d'azote	Monoxyde carbone	Hydrocarbures et oxydes d'azote
1991	12-15 <sup>a</sup>	8-9 <sup>a,b</sup>	30,00	12 <sup>b</sup>
1996	4,5	3,6	6,75	5,4
1998	4,5	3,6	6,75	5,4
2000	2,0	2,0	4,00	2,0
2005 <sup>c</sup>	1,5	1,5	2,25	2,0

Kojima *et al.*, 2000, Société des Constructeurs automobiles indiens

Notes :

Les tests effectués sur des véhicules de 1991 à 1996 sont basés sur le cycle de conduite indienne, à chaud. Pour les véhicules de 1998 à 2000, les tests sont basés sur le cycle de conduite indienne, à froid.

a) Les normes d'émission dépendent de la masse de référence du véhicule.

b) La limite est appliquée aux hydrocarbures seulement et non au total des hydrocarbures et des oxydes d'azote.

c) Un facteur de détérioration de 1,2 est applicable. L'« Émission observée » x 1,2 doit être en-dessous de la limite.

**Tableau 8 : Les limites d'émission proposées – actuelles et futures – pour les motocycles) en Inde**

Condition de test du moteur		Polluant	Courant (depuis avril 2000)	Depuis avril 2005	Proposé (oct. 2008)
			2-, quatre-temps (démarrage à chaud)	2-, quatre-temps (démarrage à chaud)	2-, quatre-temps (démarrage à chaud)
Nouveau	Test en cycle de conduite	CO, g/km	2,0	1,5 <sup>2)</sup>	1,0 <sup>2)</sup>
		HC + NO <sub>x</sub> , g/km	2,0	1,5 <sup>2)</sup>	1,0 <sup>2)</sup>
	Test en régime ralenti	CO, (%)	4,5	3,5 <sup>3)</sup>	3,5 <sup>3)</sup>
		HC, ppm <sup>4)</sup>	2-T : 6 000 4-T : 4 500	2-T : 6 000 4-T : 4 500	tbd <sup>5)</sup>
En usage	Régime ralenti	CO (%)	4,5	3,5 <sup>3)</sup>	3,5 <sup>3)</sup>
		HC (ppm <sup>4)</sup> )	2-T : 6 000 4-T : 4 500	2-T : 6 000 4-T : 4 500	Nd <sup>5)</sup>

Avec l'aimable autorisation de N. V. Iyer, 2004

- 1) Inclut les scooters et mobbyettes;
- 2) Un facteur de détérioration de 1,2 est applicable pour assurer la viabilité environnementale des émissions;
- 3) Limites pour les conditions de test du moteur à chaud;
- 4) Applicable au 1<sup>er</sup> octobre 2004 pour les véhicules fabriqués après le 31 mars 2000;
- 5) Non disponible.

société. Cependant, les normes focalisées sur les émissions sont généralement plus difficiles à contrôler que celles focalisées sur les technologies. Ces dernières ne sont pas toujours susceptibles de conduire à des solutions de faible coût ; à moins qu'une analyse rigoureuse des coûts-bénéfices soit réalisée afin d'identifier les technologies optimales pour chaque situation spécifique.

La distinction entre les politiques focalisées sur les émissions et celles focalisées sur les technologies n'est pas nécessairement notable parce que les normes d'émissions peuvent être établies de telle manière qu'elles orientent les tendances technologiques (type de véhicule ou de carburant). Les normes d'émission 2003 à Taïwan (Chine) qui fixent des standards d'émission bien plus stricts pour les moteurs à deux temps que pour les moteurs à quatre temps est un excellent moyen d'inciter à l'usage du quatre temps.

Les politiques focalisées sur les émissions définissent des normes pour les véhicules et permettent aux industries de l'automobile et du pétrole de chercher les moyens les moins coûteux qui puissent garantir la conformité aux normes.

Établir des normes d'émission plus strictes pousse apparemment les constructeurs indiens à construire plus de véhicules à moteur à quatre temps ; bien que le changement du profil des consommateurs et de leurs préférences ait également joué un rôle là-dedans. Durant l'exercice 2006–2007, les deux-roues à quatre temps ont représenté plus de 95 % du total annuel des ventes sur le marché intérieur. Un changement similaire, cependant, n'a pas pu avoir lieu pour le cas des trois-roues ; et ce malgré le fait que le coût supplémentaire d'achat d'un trois-roues à quatre temps soit amorti en un peu plus de 6 mois seulement. En supposant que les coûts d'entretien soient comparables, le remplacement d'un vieux pousse-pousse par un nouveau pousse-pousse avec moteur à quatre temps est un moyen assez efficace de réduire les émissions de particules. L'expérience de l'Inde montre que cela ne pourrait néanmoins pas se faire grâce aux seules les forces du marché. Le processus nécessite un engagement de l'État, accompagné par des mesures incitatives appropriées. La principale raison derrière le manque de succès observé pour le cas de trois-roues est que ces véhicules sont utilisés à des fins commerciales ; les propriétaires ou

conducteurs préfèrent donc un véhicule qui soit simple en construction (comme le deux-temps), bon marché et facile à entretenir.

### **Surveillance des émissions**

Alors que la conformité des véhicules neufs n'est pas très difficile à vérifier, le contrôle de la performance des véhicules déjà en service est un défi beaucoup plus grand. Au minimum, un programme efficace d'inspection et d'entretien (I/E) doit être mis en place, avec un registre des véhicules mis à jour. Toutefois, même lorsque mis en œuvre avec rigueur, un programme I/E a une efficacité limitée, parce que les propriétaires et les mécaniciens peuvent ajuster ou « trafiquer » temporairement les véhicules, notamment les plus âgés afin qu'ils puissent passer les contrôles d'émissions.

La vérification ponctuelle et ciblée de véhicules repérés aléatoirement sur la route est un bon moyen de s'assurer que les émissions répondent systématiquement aux normes. Toutefois, ces tests sont coûteux à mettre en œuvre et à administrer ; ils peuvent en outre favoriser la prolifération de la corruption.

Afin d'accroître l'efficacité des programmes I/E, la fréquence des inspections pourrait varier avec l'âge du véhicule ainsi que le nombre annuel moyen de kilomètres parcourus. Les véhicules utilitaires comme les trois-roues pourraient être inspectés plus fréquemment que les motocycles à usage privé.

L'inspection fréquente est particulièrement importante lorsque les véhicules sont équipés de catalyseurs à oxydation. Quand les catalyseurs ont une durée de vie d'environ 30 000 km et que les taxis sont conduits généralement en mode deux quarts de travail pour 150 km par jour, l'inspection et le remplacement des catalyseurs sont nécessaires deux fois par an.

La plupart des pays au Sud et au Sud-Est de l'Asie n'ont pas un programme I/E efficace visant les deux et trois-roues. L'exception la plus notable est à Taiwan, qui a mis en œuvre un système de contrôle décentralisé, opéré par un grand nombre de centres privés. Le système est assez efficace en raison du contrôle strict effectué par le gouvernement, et de la liaison informatique établie entre chaque centre avec une base de données centralisée. En outre, des contrôles routiers surprise sont également effectués de temps à autre.

L'Inde a mis en place un système de certification dit « Pollution Under Control » (PUC), applicable à tous les types de véhicules en circulation, y compris les deux et trois-roues. Le système est également décentralisé mais il n'est pas très efficace. Il existe de nombreuses lacunes dont la plus importante est le manque de contrôle gouvernemental. Une autre faiblesse est que les tests en régime ralenti sont insuffisants pour déterminer le potentiel de pollution véritable du véhicule en cours d'utilisation. L'Association de la recherche automobile en Inde (ARAI) a élaboré un test en régime couple normal, à faible coût, et qui pourrait être efficacement utilisé à cette fin (Iyer, 2007).

### **La réparation des véhicules jugés non conformes à l'inspection**

L'inspection des véhicules serait inefficace si les véhicules qui ne sont pas conformes aux normes ne sont pas réparés rapidement. La disponibilité de mécaniciens suffisamment équipés et formés est une condition préalable à un programme efficace d'inspection et d'entretien. Puisque les véhicules à moteur à quatre temps sont plus complexes et nécessitent un niveau de sophistication mécanique supérieur, la formation devrait être considérée comme une haute priorité dans les années à venir. Il y a actuellement une pénurie de mécaniciens qui peuvent entretenir des deux-roues à quatre-temps, ainsi que tous les véhicules récents conçus avec des technologies de plus en plus sophistiquées en général. Un manque est à noter également au niveau des équipements des ateliers de réparation.

Lorsque les véhicules ne sont pas conduits par leurs propres propriétaires, les incitations à l'inspection et à l'entretien réguliers, – déjà faibles dans le meilleur des cas – sont encore plus faibles ; étant donné que le propriétaire du véhicule qui est responsable des contrôles d'inspection n'est pas celui qui dispose du véhicule la plupart du temps. Ce dilemme met en évidence l'importance de trouver des moyens de renforcer la mise en œuvre des normes d'émissions et de faire face aux pratiques de non-respect ; étant donné que ni les propriétaires ni les conducteurs n'ont de motivation par ailleurs, à investir du temps, à contrôler et à entretenir des véhicules exploités à usage commercial.

### Politiques spécifiques à la technologie

Les mesures focalisées sur les carburants et les technologies imposent une configuration minimale à adopter. Les politiques spécifiques à la technologie comprennent de :

- Imposer des lubrifiants de haute qualité pour les moteurs à deux temps;
- Imposer le pré-mélange de l'essence et du lubrifiant;
- Imposer l'installation de convertisseurs catalytiques;
- Interdire les moteurs à deux temps;
- Interdire la circulation ou fournir des mesures incitatives pour le broyage des véhicules qui ont atteint un certain âge ou un certain nombre de kilomètres parcourus;
- Imposer ou fournir des mesures incitatives (crédits d'impôt, réduction d'impôt, élimination d'impôt ou des subventions) pour le remplacement des véhicules à moteur essence à deux temps par des véhicules à moteur à quatre temps;
- Imposer ou fournir des mesures incitatives pour la conversion des véhicules à moteur à essence à deux temps aux carburants alternatifs, tels que le gaz de pétrole liquéfié, le gaz naturel comprimé et l'électricité;
- Imposer le recours à des dispositifs de reconversion pour réduire les émissions, tels que le kit d'injection directe d'Evirofit.

Lorsque les politiques focalisées sur les émissions sont difficiles à contrôler, il peut être judicieux d'adopter certaines de ces politiques focalisées sur la technologie. Avant que cela ne soit fait, cependant, il est impératif que les décideurs examinent le rapport coût-efficacité de chaque option. Certaines mesures sont plus judicieuses que d'autres. L'interdiction de la vente de lubrifiants non-emballés empêcherait la circulation et l'usage excessif des lubrifiants de qualité inférieure (voir l'encadré). Imposer que tous les nouveaux véhicules à trois-roues utilisent la technologie quatre-temps peut être raisonnable étant donné les bénéfices en termes d'économies du carburant ; à condition cependant que assez de mécaniciens soient formés pour les manipulations sur ce modèle de véhicules.

En revanche, imposer l'utilisation des convertisseurs catalytiques est beaucoup plus sensible, car

ceux-ci ne peuvent fonctionner efficacement que si plusieurs conditions sont remplies :

- L'essence sans plomb doit être largement disponible. Idéalement, l'essence avec plomb devrait être complètement bannie, afin d'éliminer les éventuelles possibilités de continuer à alimenter les véhicules équipés de catalyseurs avec de l'essence au plomb;
- L'essence doit avoir un faible niveau de soufre, de préférence inférieure à 500 particules par million en poids;
- Les niveaux d'émission et la durée pendant laquelle le système catalytique doit satisfaire à ces niveaux doivent être spécifiés.
- Un système efficace d'inspection et d'entretien doit être mis en place pour s'assurer que les convertisseurs catalytiques soient remplacés quand nécessaire.

Si toutes ces conditions ne sont pas réunies, les avantages des convertisseurs catalytiques ne peuvent pas justifier le coût de leur installation. Même quand ces conditions sont remplies, il est encore plus logique d'imposer des niveaux d'émission pour les véhicules neufs plutôt que d'exiger des convertisseurs catalytiques. Le post-équipement des véhicules d'occasion avec des convertisseurs catalytiques est problématique car les ratés d'allumage, qui sont plus fréquents dans les moteurs à deux temps, peuvent provoquer l'emballement de la température à l'intérieur du moteur et le frittage du catalyseur, et conduire ainsi à l'endommagement de ce dernier. Pour cette raison, Bajaj Auto en Inde recommande que seuls les véhicules à moteurs à deux temps construits après 1996, avec des niveaux moindres d'émissions brutes, en soient éventuellement équipés.

La réduction des particules, obtenue avec une mesure d'imposition des catalyseurs, ne peut être viable. Il est en effet difficile d'évaluer l'impact des catalyseurs à oxydation sur les émissions de particules ; car des données dans ce sens ne sont pas disponibles. En supposant un rendement de la reconversion catalytique de 50 %, un facteur d'émission de matières particulaires – sans catalyseur – de 0,1 à 0,2 g par km, et une durée de vie du catalyseur de 30 000 km ; le total de  $PM_{10}$  éliminé par le catalyseur serait de 1,5 à 3,0 kg. Cela se traduit par un coût de 8 000 à 17 000 USD par tonne de  $PM_{10}$ , étant donné le coût net d'impôt du convertisseur

## Encadré 7 : Le rôle de la Cour suprême à New Delhi

Adapté de Kojima *et al.*, 2000

En juillet 1998, la Cour suprême indienne a énoncé plusieurs mesures visant les deux et trois-roues de Delhi dans l'objectif de lutter contre la pollution de l'air :

1. Interdiction de la vente d'huiles 2T non certifiées dans les stations-service et les garages de service; entrée en vigueur en décembre 1998;
2. Obligation des stations-service de mesurer automatiquement la quantité de lubrifiant devant être mélangée avec l'essence, et ce au niveau des points de vente fréquentés par les véhicules à moteur à deux temps ; entrée en vigueur en décembre 1998;
3. Obligation de remplacer toutes les voitures et taxis d'avant 1990 par des véhicules neufs utilisant des carburants propres ; entrée en vigueur en mars 2000.
4. Introduction de subventions financières pour le remplacement de toutes les voitures et taxis d'après 1990 par des véhicules neufs utilisant des carburants propres ; entrée en vigueur en mars 2001.

Les trois premières mesures ont été mises en œuvre. La troisième mesure a exigé que les pousse-pousse à moteur d'avant 1990 soient retirés de Delhi et remplacés par des pousse-pousse alimentés au gaz naturel comprimé. Les deux seules options de carburant « propres » à l'époque étaient le gaz naturel et l'électricité, vu que l'utilisation du gaz de pétrole liquéfié n'était pas encore légalisée. Les pousse-pousse fonctionnant avec l'électricité ne sont à ce jour pas encore

disponibles pour une commercialisation en l'Inde.

La quatrième mesure a eu une histoire intéressante. Le gouvernement de Delhi a offert des incitations financières jusqu'en mars 2000 pour remplacer les pousse-pousse de 15 ans ou plus par de nouveaux véhicules répondant aux normes d'émissions d'avril 1996. Bien que les moteurs à deux temps et ceux à quatre temps soient en principe autorisés tous les deux, seuls les pousse-pousse avec moteurs à deux temps étaient disponibles durant cette période. Le programme incitatif consistait en une exonération totale de la taxe de vente (6 % jusqu'en 2000, alors qu'elle avait été portée à 12 %) et des prêts subventionnés par la Delhi Finance Corporation. La période de remboursement du prêt, allant de trois à cinq ans, pouvait être négociée. A partir d'avril 2000, le pack financier n'a été offert que pour le remplacement des anciens pousse-pousse par de nouveaux fonctionnant au gaz naturel comprimé ou à l'électricité.

Ces incitations ont été très largement approuvées par les propriétaires des pousse-pousse à moteur. En mars 2000, près de 20 000 anciens pousse-pousse ont été remplacés par de nouveaux. Bien que l'ordonnance ait permis aux propriétaires de vendre leurs vieux véhicules en dehors du périmètre de la capitale Delhi, la plupart des propriétaires ont choisi de les abandonner. La pollution n'a donc pas été transférée à d'autres parties du pays, et il n'y avait aucune possibilité pour que ces vieux véhicules migrent encore une fois vers Delhi.

catalytique de 25 USD en Inde. Ce chiffre est destiné à fluctuer en fonction des hypothèses formulées en terme de durée de vie du catalyseur et de la réduction de la quantité de particules obtenue ; mais les données sur les coûts restent du côté de la fourchette élevée comparativement à d'autres stratégies de réduction des PM<sub>10</sub>.

### **L'interdiction de tous les moteurs à deux temps**

L'interdiction de tous les moteurs à deux temps supprimerait leur moyen de transport à des millions de personnes dans les villes asiatiques en développement, et causerait des difficultés de mobilité tant qu'il n'y a pas assez de bus et de taxis à moteur à quatre temps pour remplacer l'immense parc existant de tricycles à deux temps. Les femmes et les familles, qui dépendent plus que les autres groupes de ces véhicules, ainsi que les nombreuses personnes qui les utilisent à dessein commercial, seraient particulièrement touchées par une solution radicale. La reprise brusque et précipitée des tricycles à deux temps aurait également une incidence sur les moyens de subsistance de dizaines de milliers de conducteurs et pourrait créer un mécontentement social. En outre, une interdiction des moteurs à deux temps existants, qui n'est pas accompagnée d'un système d'immatriculation bien documenté des véhicules, d'une unité de police de la circulation efficace, et d'alternatives de transport pour les utilisateurs actuels, pourrait mener à un harcèlement accru des conducteurs par la police et à la prolifération de la corruption. Ainsi, plutôt que d'interdire ces véhicules, les décideurs devraient envisager d'autres solutions moins coûteuses pour réduire leurs émissions.

### **Interdictions plus sélectives**

Quelques-unes des options alternatives à l'interdiction des véhicules à moteur à deux temps, plus viables politiquement et moins coûteuses, sont :

- a. *Interdiction des véhicules âgés (et généralement plus polluants) à moteur à deux temps des zones urbaines.* Cette approche a déjà été entreprise à Delhi, et a rencontré un soutien large du public (voir l'Encadré 7);
- b. *Interdiction de la conception de nouveaux véhicules à moteur à deux temps.* Ceci est susceptible d'avoir moins d'impact socio-économique que l'interdiction de toute la flotte de ces véhicules, étant

donné que la différence de coût entre les nouveaux moteurs à deux temps et à quatre temps n'est pas significative. Si les coûts de fonctionnement et d'entretien sont pris en considération, posséder un véhicule à moteur à quatre temps pourrait même s'avérer plus économique que de posséder un véhicule à moteur à deux temps. Enlever les éventuels obstacles financiers pouvant entraver cette reconversion devrait être une haute priorité;

- c. *Interdiction ou imposition sur l'importation de véhicules à moteur à deux temps.* Une interdiction pure et absolue, ou l'imposition de restrictions fiscales à l'importation, à la vente ou à l'usage de nouveaux véhicules à moteur à deux temps, sont des mesures qui doivent cependant être traitées avec une grande précaution. De telles politiques peuvent avoir des effets perturbateurs sur les industries, qui préfèrent avoir affaire à des normes de performance qu'elles pourraient chercher à atteindre par des moyens à moindres coûts. Une telle démarche pourrait donc être utile pour des pays qui ne disposent pas de la capacité à faire appliquer des normes d'émissions fortes – nouvelles ou en vigueur – ce qui assurerait dans ce cas effectivement que les véhicules à moteur à deux temps insuffisamment contrôlés ne rentrent pas dans le marché.

L'ensemble de ces trois options seraient mieux suivies si les conditions suivantes sont réunies : (i) des alternatives aux véhicules enlevés de la circulation sont facilement disponibles et testées, (ii) ces solutions sont abordables, ce qui peut nécessiter la réduction ou l'élimination des droits de douane à l'importation ou toutes autres taxes sur les véhicules neufs (voir ci-dessous), (iii) un crédit suffisant existe pour les propriétaires et conducteurs de véhicules pour être en mesure de financer l'achat de véhicules plus récents.

### **Instruments économiques et fiscaux**

Que des mesures spécifiques aux technologies soient adoptées ou non, des options politiques économiques existent pour encourager l'élimination des véhicules les plus anciens et les plus polluants. Ces options comprennent des incitations fiscales pour le renouvellement des véhicules, la fourniture de facilités pour le retrait des véhicules anciens de la circulation, la fourniture de crédit pour l'achat de véhicules

neufs, et la libéralisation du commerce des véhicules neufs. Ces options ne sont pas, cependant, toutes également recommandées.

### **Des incitations fiscales pour le renouvellement des véhicules**

La structure des taxes et autres redevances, tels que les droits d'enregistrement annuels des véhicules, devrait être soigneusement examinée et révisée si nécessaire lorsque ces structures ne tiennent pas compte du coût de la pollution. Par exemple, les droits d'importation ou taxes à la vente de solutions alternatives plus propres aux pousser-pousser (qu'il s'agisse de véhicules neufs ou de dispositifs de transformation) ne devraient pas être élevés au point de décourager leur achat, puisque les bienfaits sur la santé publique qui pourraient en être obtenus sont élevés. De même, des droits d'enregistrement annuels basés uniquement sur la valeur vénale du véhicule, plutôt que sur sa valeur vénale et ses niveaux d'émission, seraient inadaptés pour décourager efficacement l'utilisation des véhicules plus âgés dans les zones urbaines. Dans l'évaluation de chacune de ces mesures, les décideurs doivent soupeser le coût socio-économique entre de rendre plus onéreux la possession de vieux véhicules et les bénéfices pour la santé de la réduction des émissions des véhicules.

### ***Retrait accéléré des véhicules à deux temps (programme de mise à niveau des motocycles ; subventions de reprise)***

Le gouvernement offrant des subventions pour le retrait des véhicules les plus anciens de la circulation pourrait fausser la tendance et avoir l'effet pervers de maintenir au contraire les vieux véhicules en circulation. Si le gouvernement propose d'acheter les véhicules les plus anciens, le prix de ces véhicules – dont beaucoup pourraient être sur le point d'être abandonnés – pourrait augmenter. Un véhicule est généralement abandonné lorsque le coût de sa réparation dépasse sa valeur vénale après réparation. Des prix plus élevés pour des véhicules anciens peuvent avoir l'effet indésirable d'inciter certains propriétaires à maintenir et à réparer leurs vieux véhicules plutôt que de s'en débarrasser. En outre, parce que les prix des véhicules sont généralement plus élevés à l'intérieur qu'à l'extérieur des centres urbains, les « non

urbains » propriétaires de vieux véhicules seraient incités à apporter leurs véhicules dans les centres urbains afin de les y vendre. Ces problèmes indiquent en outre que subventionner les véhicules anciens n'est pas la meilleure utilisation des ressources publiques – qui sont rappelons-le déjà limitées.

### ***Assurer qu'un crédit suffisant soit disponible***

Plutôt que d'offrir des subventions financières, le plus important que le gouvernement pourrait assurer serait de garantir la disponibilité du crédit par le biais du crédit ordinaire et des marchés de microcrédit, pour les propriétaires et conducteurs de véhicules de transport publics urbains. Cela faciliterait le remplacement des pousser-pousser à moteur âgés – ainsi que des véhicules plus grands, tels que les Tempos à moteurs diesel ou essence à deux temps – avec des véhicules plus propres.

### **Sensibilisation du public**

Les émissions des moteurs à deux temps et les coûts de réparation peuvent être réduits en sensibilisant et en encourageant les propriétaires à effectuer un entretien régulier et à utiliser un lubrifiant spécialement fabriqué pour les moteurs à deux temps, avec les concentrations recommandées par le constructeur du véhicule. Une éducation massive du public sera nécessaire pour inciter les propriétaires de véhicules à adopter ces mesures « gagnant-gagnant ».

En Asie du sud par exemple, les gouvernements, les donateurs et les organisations non gouvernementales ont cherché à sensibiliser le public sur la question des émissions.

- L'Hydrocarbon Development Institute au Pakistan a distribué des brochures et des autocollants contenant des informations de base sur la qualité et la quantité d'essence et de lubrifiant à utiliser.
- A Dhaka, au Bangladesh, une initiative conjointe du PNUD et de la Banque mondiale au travers de l'ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) a opéré une série de sessions de formation pour les mécaniciens automobiles et les chauffeurs des taxis à trois-roues à la fin de l'année 2000. Le programme a été basé sur l'idée que la première étape vers l'adoption de bonnes pratiques est la diffusion d'informations exactes par les mécaniciens à ces chauffeurs de taxi (ESMAP, 2002).

- A la fin de l'année 1999, une vaste campagne de sensibilisation à Delhi, en Inde, a conduit plus de 66 000 véhicules deux-roues à participer à une large opération d'inspection gratuite et de contrôles d'entretien (Iyer, 2000) (voir l'Encadré 8).
- La Société des constructeurs automobiles indiens (SIAM) mène des opérations afin de promouvoir l'informatisation des centres d'inspection des

émissions dans de nombreuses villes, ce qui a permis d'améliorer la confiance du public dans le système et d'augmenter le nombre de véhicules se présentant volontairement pour passer un test de certification. Le système développé par la SIAM minimise les interventions manuelles dans le processus d'inspection et comprend une photo de la plaque d'immatriculation du véhicule testé dans le certificat, ce qui améliore la crédibilité

### Encadré 8 : La réduction des émissions et l'amélioration des performances : Cliniques d'inspection et d'entretien à Delhi

Adapté de Kojima *et al.*, 2000

Pour réduire les émissions des gaz d'échappement, la Société des constructeurs automobiles indiens (SIAM) et d'autres sociétés indiennes ont sponsorisé des centres d'inspection volontaire et d'entretien pour les véhicules à deux roues à Delhi en 1999. Les cliniques, financées en partie par USAID, ont été implantées simultanément dans quatre villes, en trois phases, étalées sur quatre semaines. Les sociétés membres de la SIAM ont fourni 45 instruments de mesure et 200 employés. Les grands constructeurs automobiles ont assuré la gestion de l'évènement et implanté des stands de réparation et d'information. Les fabricants des instruments de mesure étaient sur place pour vérifier l'étalonnage et veiller à l'exactitude des mesures opérées. Le gouvernement de Delhi a autorisé la SIAM à mettre en place des autocollants « Pollution under control », ainsi que des agents de la circulation sur les sites de l'évènement. Les cliniques ont été largement médiatisées, avec des appels lancés par des dignitaires, des célébrités et des responsables gouvernementaux de haut rang. Le coût de ce programme couronné de succès a été d'environ 2,50 USD par conducteur.

Des tâches simples d'entretien ont été effectuées, et des livrets d'entretien avec conseils de conduite pour une meilleure économie de carburant ont été distribués. Les véhicules ont d'abord été examinés pour vérifier leurs émissions en monoxyde de carbone et hydrocarbures, en régime ralenti. Si le véhicule échoue à ce premier test (c'est

à dire si les émissions de monoxyde de carbone dépasse 4,5 % des gaz d'échappement ou que les émissions d'hydrocarbures dépassent 9 000 ppm), il est emmené dans un stand de réparation où son carburateur est réglé et ses émissions mesurées de nouveau. Si le véhicule ne réussit pas le second test d'émissions, ses bougies sont nettoyées et réglées et le filtre à air nettoyé. Un troisième essai des émissions est ensuite effectué. Après avoir été testé, le véhicule est transporté à la cabine de sécurité où le conducteur reçoit un livret de conseils de sécurité et d'entretien.

Environ 80 % des véhicules participants avaient réussi le test de monoxyde de carbone en régime ralenti ; 95 % des 20 % restants ont réussi le test après des réparations mineures. Soixante-cinq véhicules qui avaient initialement échoué aux contrôles d'émission ont été testés pour leur consommation de carburant. Des économies de carburant ont été réalisées, passant d'une distance moyenne parcourue de 39 à 47 km par litre moyennant des réparations mineures, ce qui démontre les avantages des tâches simples d'entretien. L'un des quatre centres avait des compteurs de fumée et des mesures de fumées ont été effectuées sur des véhicules défailants avant et après l'entretien mineur. Les niveaux d'émission de fumée ont beaucoup diminué après des réparations mineures.

Pour une analyse des données recueillies lors de ces tests cliniques, se référer à Sujit Das *et al.*, 2001.

des centres d'essais. Bien qu'initialement ce programme ait été réalisé par la SIAM à ses propres frais comme opération pilote, de nombreux centres de contrôle se portent maintenant volontaires pour améliorer leurs systèmes informatiques, étant donné que cela permet d'améliorer leurs revenus. A Bangalore, où la SIAM a mis en place deux centres de démonstration, plus de 100 centres de contrôles privés ont déjà informatisé leurs installations. Plusieurs autorités publiques locales exigent maintenant l'utilisation du système informatisé développé par la SIAM.

Bien que des initiatives de sensibilisation du public aient été prises en Asie, de nombreux conducteurs continuent à ne pas entretenir adéquatement leurs véhicules. Il reste encore beaucoup à faire pour améliorer la compréhension du public vis-à-vis de l'importance d'un entretien adéquat des véhicules.

#### **Identification des parties prenantes**

L'atelier régional à Hanoi (2001) a identifié les groupes suivants en tant que parties prenantes :

- *Organismes gouvernementaux nationaux;*
- *Organismes gouvernementaux locaux;*
- *Le secteur industriel* (constructeurs de motocycles, producteurs de carburant, fournisseurs de catalyseurs, industrie de l'entretien des véhicules);
- *Groupes intermédiaires* qui peuvent jouer un rôle dans la promotion et la mise en œuvre des campagnes de réduction de la pollution;
- *Utilisateurs.* Dans le groupe des utilisateurs, il est important de faire la différence entre les utilisateurs qui dépendent des deux ou trois-roues pour gagner leur vie, comme les chauffeurs de pousse-pousse, et ceux qui utilisent ces véhicules pour leur transport personnel;
- *La population* (société civile) qui subit la pollution, du simple fait de respirer dans un environnement chargé en PM et autres émissions.

L'industrie de la construction des véhicules de deux et trois-roues a gagné en matière de prise de conscience relativement aux émissions produites par leurs véhicules. Les constructeurs commencent de plus en plus à modifier la conception de leurs produits afin d'assurer leur conformité avec des normes d'émissions de plus en plus contraignante. Il est important pour l'industrie que l'autorité de régulation élabore des programmes à moyen terme visant

à la fois les nouvelles technologies et celles déjà en usage.

#### **La promotion des modes de déplacement alternatifs**

Une façon de réduire les émissions des deux et trois-roues est de développer et promouvoir des modes de transport alternatifs, tel que la marche, le vélo, et les transports publics. Ces rubriques sont traitées ailleurs dans cette *Livre ressource*. Nous notons ici que les restrictions à l'utilisation des véhicules privés – par exemple des tarifs de stationnement élevés – devraient également être appliquées aux motocycles. Ceci est important car c'est une condition préalable déterminante pour la mise en place d'une industrie de transport public viable.

### **3.7 Les orientations futures**

Les moteurs à deux temps concernent une grande portion du parc total des véhicules en circulation car ils sont relativement peu coûteux, offrent de bons résultats en termes de puissance et de vitesse, et sont faciles à réparer. Précisément, et parce que les moteurs à deux temps sont si nombreux et populaires, toute décision politique pour réduire leurs émissions devrait prendre en compte les conséquences socio-économiques. A grande échelle, une interdiction précipitée des véhicules à moteur essence à deux temps serait une opération extrêmement difficile et coûteuse ; mais heureusement, de nombreuses mesures et améliorations, petites et viables, existent. La sensibilisation du public – sur les impacts des émissions sur la santé, les paramètres de fonctionnement du moteur/carburant/lubrifiant qui augmentent les niveaux d'émission, les mesures simples qui peuvent être prises par les conducteurs pour réduire les émissions de leurs véhicules, et les avantages et les inconvénients des différentes mesures visant l'atténuation de la pollution atmosphérique – rendent plus facile l'atteinte des objectifs, même pour le parc des véhicules déjà en usage.

Les véhicules conventionnels à moteur à deux temps peuvent éventuellement être éliminés en Asie, pour être remplacés par des alternatives comparables mais plus propres, et qui continuent de répondre aux besoins sociaux et économiques de la population. Celles-ci peuvent inclure des moteurs à deux temps

plus évolués utilisant l'injection électroniquement contrôlée du carburant, et qui ont le potentiel d'atteindre des niveaux d'émission aussi bas, ou même inférieurs à ceux des moteurs à quatre temps, tout en conservant les avantages de conception des deux temps. Des partenariats dynamiques entre le gouvernement, l'industrie et le public seront cruciaux pour l'engagement et la mobilisation dans la réalisation des objectifs de qualité de l'air. Une période de transition est probable – sans doute un certain nombre d'années – au cours de laquelle les véhicules à moteur à deux temps continueront d'être utilisés dans les grands centres urbains avant d'être totalement éliminés.

Dans ces circonstances, il faut encore une fois souligner l'importance de promouvoir les bonnes pratiques à l'usage des lubrifiants pour moteurs à deux temps en service. Dans cette situation « gagnant-gagnant », les émissions peuvent être considérablement réduites et l'entretien des véhicules en deviendrait plus facile et plus économique.

### 3.8 Vélos électriques – impact d'une réglementation sur la mobilité et l'environnement

\* Cette section est une contribution du Dr Christopher Cherry, Professeur Assistant au département de génie civil à l'Université du Tennessee-Knoxville. Cette section est basée sur les résultats de son étude, commanditée par la *Clean Air Initiative-Asia*, le *UC Berkeley Center for Future Urban Transport* – un centre d'excellence Volvo (*Volvo Center of Excellence*), et la Fondation Nationale des Science (*National Science Foundation*).

Les deux-roues électriques ont gagné en popularité au cours des dernières années. De plusieurs milliers vendus en 2000, ils sont passés à 16–18 millions de vélos vendus en 2006 (Jamerson et Benjamin 2007). Les estimations donnent un parc total en Chine atteignant les 30 à 50 millions actuellement. Le taux d'adoption de ce mode a largement dépassé celui de l'automobile et a en même temps créé de nouveaux défis pour le système de transport et l'environnement dans les villes chinoises. Les partisans des deux-roues électriques les promeuvent comme étant des véhicules respectueux de l'environnement, contribuant à réduire la pollution atmosphérique locale, et fournissant

une grande liberté de mobilité aux utilisateurs. Leurs opposants suggèrent qu'ils sont dangereux, polluants et la cause de nombreux problèmes de circulation en Chine (Ribet 2005). En fait, plusieurs villes ont commencé récemment à interdire ou à restreindre fortement l'utilisation des vélos électriques (Guangzhou Daily 2006).

Il existe deux catégories de deux-roues électriques : des vélos électriques, et des scooters électriques (Jamerson et Benjamin 2007), illustrés dans la Figure 20. Les vélos électriques ont une portée de 40 à 60 kilomètres avec une seule charge, et coûtent entre 150 et 300 USD. Ils ne font en générale pas l'objet d'une réglementation précise en fonction de leur taille, leur poids ou leur vitesse maximale, et sont considérés dans les classifications existantes comme des vélos classiques (Gouvernement Central de Chine 1999; Gouvernement Central de Chine 2004). A ce titre, ils bénéficient des mêmes privilèges et sont soumis aux mêmes règlements que les vélos, y compris pour le droit de circulation sur les pistes cyclables.

Leurs impacts sur l'environnement, par opposition à leurs avantages certains pour le système de transport – principalement en termes d'augmentation de la mobilité et de l'accessibilité – sont discutés dans cette section. Deux études de cas sont traitées afin d'évaluer les impacts nets sur l'environnement et sur le système de transport dans le cas d'une interdiction du vélo électrique dans les villes de Shanghai et de Kunming. Une discussion sur les implications et autres décisions politiques qui doivent être considérées est proposée à la suite de ces études de cas.



Fig. 20a, b  
Vélo électrique et scooter électrique.

### **Effets positifs et négatifs pour le système de transport**

Les vélos électriques, comme tout autre mode, ont des effets positifs et négatifs sur le système de transport. Les vélos électriques peuvent contribuer à la congestion, être responsables de pollution, ou être engagés dans des accidents graves ou mortels. En contre partie, ils peuvent assurer un certain niveau de mobilité pour les citoyens d'une ville, augmenter la productivité et l'accès à l'emploi, et contribuer au désenclavement de certaines zones. La question pertinente à poser est de savoir dans quelle mesure les vélos électriques peuvent offrir des performances meilleures ou pires au regard de ces indicateurs, relativement à d'autres modes alternatifs de transport. Si les vélos électriques venaient à être retirés des options de transport disponibles, la distribution du report vers les autres modes (voitures, bus, vélo ordinaire ou marche à pied) permettrait de déterminer si leur retrait a pour effet une augmentation ou une diminution des externalités négatives du système de transport. Toute analyse des politiques relatives à l'utilisation des vélos électriques doit d'abord identifier vers quels modes les utilisateurs se reporteraient en cas de retrait, puis identifier les impacts positifs et négatifs nets sur la base des indicateurs environnementaux, de sécurité et en terme de mobilité.

### **Études de cas – Impacts d'une interdiction éventuelle du vélo électrique à Kunming et à Shanghai**

Dans les deux villes étudiées, une enquête sur les déplacements a été réalisée pour recueillir des informations sur les origines/destinations des utilisateurs des vélos électriques et la longueur de leurs déplacements. Plus que 50 % des utilisateurs sont des anciens usagers des transports collectifs par bus, et ils reviendraient vers ce moyen si jamais les vélos électriques venaient à être bannis (Cherry et Cervero 2007) ; ce qui a des implications importantes sur les contraintes de capacité et sur les émissions des bus. Cependant ceci est une découverte intéressante et quelque peu surprenante, car on s'attendrait à ce que les vélos électriques remplacent plutôt les vélos traditionnels comme illustré d'ailleurs par une étude similaire menée à Shijiazhuang (Weinert, Ma *et al.*, 2007). Ce pourrait être parce que Shanghai et Kunming ont tous les deux des systèmes de bus

exceptionnels. Étant donné le mode alternatif prédominant donné par les sondages, on peut se permettre de déduire le total annuel de kilomètres parcourus « reportés ». Par exemple, en 2006, Shanghai avait environ 1 000 000 de deux-roues électriques. Selon l'enquête, 56 % de tous les voyages se reporteraient sur les bus si les vélos électriques étaient interdits. La moyenne annuelle des déplacements effectués par les utilisateurs de vélos électriques qui se reporteraient sur le bus étant de 2 975 km, le total des passagers-kilomètres transportés (PKT) reportés serait d'environ 1 666 000 000 kilomètres (1 000 000 vélos x 56 % x 2 975 vkt par an). La Figure 21 illustre la répartition des réponses des répondants du sondage (déplacement annuel et répartition modale) à Shanghai et Kunming. À partir de ces données, les impacts nets peuvent être calculés en dressant la carte des taux d'impact (par exemple les émissions de SO<sub>2</sub>/km) imputés au report du vélo électrique aux modes alternatifs.

Les résultats des impacts négatifs sur l'environnement et la sécurité obtenus à Shanghai et à Kunming sont illustrés dans le Tableau 9. Les sept premières colonnes indiquent les taux d'émissions des polluants sur un cycle de vie des vélos incluant la production, l'utilisation et l'élimination. On observe que ces taux diffèrent entre Shanghai et Kunming ; Shanghai est effectivement à 99 % dépendante du charbon pour sa production d'électricité, tandis que Kunming repose sur le charbon à 48 % seulement, le reste étant assuré par l'hydroélectrique. Par ailleurs, par rapport à Shanghai, Kunming a un plus grand pourcentage de vélos électriques de type « scooter », qui ont une plus grande consommation d'électricité et, donc, des taux d'émission plus élevés par rapport aux vélos électriques de type « vélo ». Comparés aux autres modes, les vélos électriques sont plus performants au regard de certains indicateurs, et moins performants relativement à d'autres. Plus particulièrement, les vélos électriques fonctionnent mieux que d'autres modes motorisés au niveau des émissions de NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, et des taux de consommation énergétique. Toutefois, ils émettent beaucoup plus de pollution par plomb (Pb) du fait du processus de production et de recyclage peu performants, en plus des faibles taux de recyclage (Mao, Lu *et al.*, 2006). La huitième colonne indique le taux moyen de morbidité liée aux différents modes sur plusieurs sites

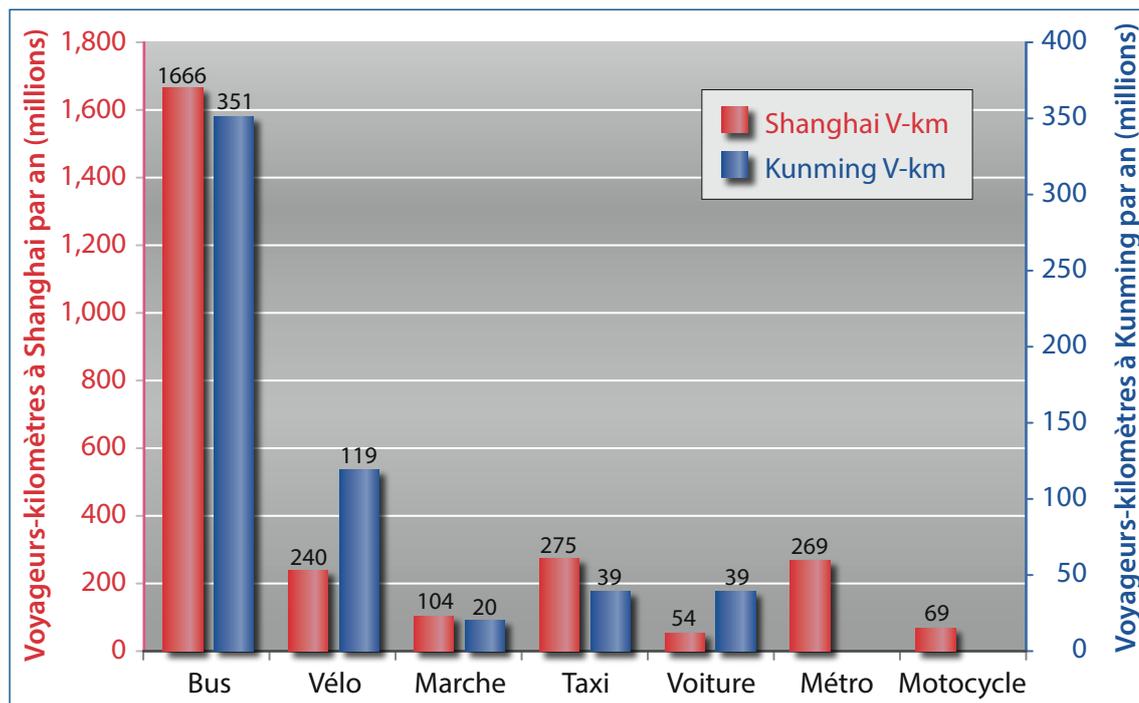


Fig. 21  
PKT reporté par mode –  
Shanghai et Kunming.

Tableau 9 : Taux d'impact de modes concurrents à Shanghai et Kunming

(Unité : grammes/passager/km sauf quand indiqué autrement)

	CO <sup>a)</sup>	CO <sub>2</sub>	HC <sup>a)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>a)</sup>	SO <sub>2</sub>	PM	Plomb <sup>b)</sup> (Pb)	Vitesse moyenne km/h
Bus <sup>c)</sup>	0,16	48,43	0,02	0,27	0,02	0,06	0,005	7,1
Vélo électrique Shanghai	inc.	29,25	inc.	0,03	0,18	0,15	0,353	14,5
Vélo électrique Kunming	inc.	23,17	inc.	0,02	0,11	0,16	0,378	14,7
Vélo	0,00	4,70	inc.	0,00	0,01	0,06	0,000	11,0
Voiture <sup>d)</sup>	9,43	306,00	1,11	1,01	0,69	0,28	0,299	15,0

Notes :

inc. = inconnu

- a) Seulement la phase d'usage a été prise en compte en raison de la disponibilité des données (les émissions de la phase de production sont inconnues).
- b) Suppose les chiffres des taux de recyclage rapportés par l'industrie automobile et 100 % de taux de recyclage pour les vélos électriques. Les proportions de vélos électriques de type scooter et de type vélo sont respectivement de 50/50 à Shanghai et 70/30 à Kunming.
- c) Tous les calculs supposent un bus moyen transportant 50 passagers.  
La vitesse moyenne des bus est estimée en utilisant les durées moyennes de parcours, les temps d'attente, la vitesse de fonctionnement et la distance du trajet dans les deux villes, tel que souligné dans Fudan News 2004; Kunming University of Science and Technology 2005.
- d) Les taux d'émission des voitures ont été principalement tirés de (Sullivan, Williams et al., 1998).

en Chine. La dernière colonne indique les caractéristiques de mobilité (vitesse moyenne) de chaque mode.

En combinant les résultats de la Figure 21 et le Tableau 9, on peut déduire les impacts nets en terme d'améliorations ou de détériorations sur le système de transport si les deux-roues électriques venaient à être interdits dans les villes étudiées. Par exemple, l'interdiction des vélos électriques diminuerait les émissions de plomb, mais augmenterait les émissions de gaz à effet de serre et réduirait la mobilité. Ces impacts nets sont indiqués dans le Tableau 10 ; les chiffres positifs indiquent une augmentation nette des impacts, les négatifs une diminution nette des impacts à la suite d'une interdiction – ou de toute autre politique – ciblant les deux-roues électriques, et forçant leurs utilisateurs à se reporter sur les autres modes existants.

Du Tableau 10, il résulte clairement que les véhicules électriques à deux-roues présentent des avantages indéniables pour le système de transport, notamment en termes de coût économique. Par exemple, l'interdiction des deux-roues électriques à Kunming aboutirait à une redistribution de leurs utilisateurs sur un large éventail de modes alternatifs. *Une interdiction des véhicules électriques à deux-roues causerait un report modal qui induirait en fin de compte une augmentation de la consommation d'énergie et une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et de SO<sub>2</sub>. Leurs anciens usagers seraient forcés de perdre 145 heures supplémentaires par an dans le transport ; réduisant ainsi leur productivité.* Le plus grand inconvénient des deux-roues électriques est l'augmentation significative du niveau de plomb (Pb)

émis dans l'environnement. Pour chaque vélo électrique enlevé, ce sont 774 grammes de plomb qui n'y seraient plus rejetés. C'est un problème très difficile et complexe qui doit être réglementé par une amélioration significative des processus de production des batteries ainsi que des pratiques de recyclage. Des améliorations technologiques visant à obtenir des batteries plus respectueuses de l'environnement seraient également une solution à étudier. L'orientation des impacts à Shanghai aboutit similairement aux mêmes conclusions.

Une interdiction des vélos électriques augmenterait également l'impact des émissions de particules, dans les deux cas étudiés. Cependant, une grande partie de ces émissions est libérée au niveau des usines et des centrales électriques, à l'écart donc des zones habitées. L'exposition de la population, ainsi que ses répercussions sur la santé publique, seraient donc probablement plus faibles que dans le cas des émissions d'échappement (Marshall, Teoh *et al.*, 2005; Zhou, Levy *et al.*, 2006). En conséquence, les bénéfices sur la santé retirés des réductions des émissions de NO<sub>x</sub> dépassent probablement les coûts imputés aux impacts des surplus d'émission de particules (Health Effects Institute 2004).

### Recommandations stratégiques liées aux vélos électriques

Les véhicules à deux-roues électriques ont pénétré le marché comme un important mode de transport dans les villes chinoises. Une grande partie de cette croissance est due à l'augmentation de la longueur des déplacements, à des restrictions strictes sur l'utilisation des motocycles, et au manque de

**Tableau 10 : L'impact annuel net par vélo électrique banni de la circulation**

(Unité : Impact par véhicule électrique à deux roues retiré, par an sauf signalé autrement)

	CO <sub>2</sub> (kg/an)	NO <sub>x</sub> (g/an)	SO <sub>2</sub> (g/an)	PM (g/an)	Plomb (Pb) (g/an)	Énergie (kWh/an)	Temps de déplacement annuel (h/an)
Shanghai	+119	+815	-129	-121	-664	+521	+126
Kunming	+128	+830	+8	-140	-774	+557	+145

Note :

- + Indique une croissance nette de l'impact sur le système si un véhicule électrique à deux roues est retiré (Exemple : le retrait d'un vélo électrique du système augmente les émissions de CO<sub>2</sub> de 119 kg/an)
- Indique une diminution nette de l'impact sur le système si un véhicule électrique à deux roues est retiré (Exemple : le retrait d'un vélo électrique du système réduit les émissions de Pb de 664 g/an)

performance des services de transport en commun – pris au piège de la congestion et de la saturation. De nombreux décideurs ont fait l'éloge des véhicules à deux-roues électriques, d'autres les ont critiqués. Cette section permet de quantifier certains des plus importants de leurs impacts sur le réseau de transport.

Les deux-roues électriques offrent de nombreux avantages quantifiables, tels que la réduction des émissions de nombreux polluants, une sécurité renforcée et une plus grande mobilité. Ces avantages viennent avec un coût ; principalement une augmentation importante de la pollution par le plomb dans l'ensemble de la chaîne de production des batteries au plomb en Chine. Des technologies alternatives de batteries existent et sont commercialement viables ; cependant, le marché ne favorise pas leur adoption en raison de leur coût plus élevé (Weinert, Burke *et al.*, 2007). Ces technologies offrent pourtant des avantages avérés sur le système de transport ; des incitations économiques ou une réglementation spécifique devraient donc être adoptées afin de soutenir leur introduction dans le marché (telles les Li-ion ou NiMH qui aboutissent à un impact moindre sur l'environnement).

Cette section n'aborde pas spécifiquement la sécurité, même si des analyses ont démontré un

fort potentiel pour les deux-roues électriques dans ce domaine (Cherry 2007, Ni 2008). Ce mode fournit une mobilité de haute qualité, assimilable à celle offerte par la voiture, mais à un coût moindre. Une stratégie potentielle serait de développer un système synergique, où les deux-roues électriques fonctionnent en soutien à des axes de transport collectif de masse ; assurant les trajets courts, et une meilleure accessibilité. En conclusion, après examen d'un large éventail d'avantages et d'inconvénients, un deux-roues électrique avec une technologie plus propre de batterie est l'un des modes de transport les plus efficaces que la Chine pourrait offrir.

### Remerciements

Ce travail a été financé par *Clean Air Initiative – Asia*, *UC Berkeley Center for Future Urban Transport* – Volvo Center of Excellence, et la *National Science Foundation*. L'auteur tient à remercier **Adib Kana-fani**, **Robert Cervero**, **Cornie Huizenga**, **Bert** et **Sophie Punte Fabian** pour leur soutien au processus de recherche. Des remerciements également sont adressés à **Jonathan Weinert**, **Ma Chaktan**, **Yang Xinmiao**, **Pan Haixiao**, **Xiong Jian** et **Ni Jie**.

## 4 D'autres références

### 4.1 Références citées dans le texte

- BASD, « Policy Guidelines for Reducing Vehicle Emissions in Asia – Cleaner Two and Three Wheelers ».
- Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program, 1997 le Rapport Final du Programme, <http://www.crcao.com/reports/auto-oil/Default.htm>.
- Bali Urban Infrastructure Program (BUIP), 1999, Public Transport Study : Draft final Report Dorsch Consult, 1999.
- Cerise, J Weinert, Xinmiao Y, 2008, « Environmental Impacts of E-bikes in China (and beyond) », BAQ2008, Bangkok, <http://www.baq2008.org>.
- Cherry C, 2007, Electric Two-Wheelers in China : Analysis of Environmental, Safety, and Mobility Impacts, Civil and Environmental Engineering, Université de Californie-Berkeley, Thèse de doctorat.
- Cherry C and Cervero R, 2007, « Use Characteristics and Mode Choice Behavior of Electric Bike Users in China », Transport Policy 14(3).
- Cherry C, Weinert J, Ma C, 2006, « The Environmental Impacts of Electric Bikes in China », soumis au Transportation Research Board, juillet 31, 2006.
- Le Gouvernement Central de Chine, 2004, la Loi nationale des transports routiers.
- Le Gouvernement Central de Chine, 1999, Normes générales techniques du vélo électrique (GB17761-1999) du Normes Nationaux Impératives du vélo électrique.
- ESMAP Report 253/02, 2002, Bangladesh : Reducing Emissions from Baby-Taxis in Dhaka, Report 253/02, janvier 2002, <http://www.esmap.org>.
- Fudan News, 2004, « 上海交通发展第三道难题机, 非高度混杂干扰通行. »
- Gerhard Metschies, 2001, Fuel Prices and Vehicle Taxation : Second Edition, GTZ, octobre 2001, <http://www.worldbank.org/wbi/cleanair/global/topics/transport.htm>.
- Gouvernement de l'Inde, 2002, Report of the Expert Committee on Auto Fuel Policy, 2002, [http://www.petroleum.nic.in/afp\\_con.htm](http://www.petroleum.nic.in/afp_con.htm).
- Guangzhou Daily, 2006, Guangzhou bans Electric Bikes, Guangzhou Daily, Guangzhou, China.
- Health Effects Institute, 2004, Health Effects of Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia : Analyse documentaire.
- International Energy Agency, 2002, Workshop on Clean Vehicle Technology, Paris, 24–25 sept. 2002, <http://www.iea.org/workshop/cleanvehicles.htm>.
- International Energy Agency, 1997, CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion, 1997. Diskette Service de documentation de l'Agence internationale de l'énergie, de l'Organisation de coopération économique et de développement, Paris, France.
- Iyer NV 2007, « Management of In-Use Motorcycle Emissions – the Indian Experience », Workshop on Motorcycle Emission Control : Vietnamese and International Experience, Hanoi, Vietnam, 6 March 2007, <http://www.theicct.org>.
- Iyer N V, 2004, « Managing Two and Three-Wheeler Emissions », National Workshop on the Improvement of Urban Air Quality of Pakistan 13–15 décembre, 2004 Lahore, Pakistan.
- Iyer N 2000, Emissions and Control Options for Two-Stroke Engines in India, Document présenté à l'Atelier sur la pollution imputée aux motos – questions et choix, 9 mars, 2000, Banque mondiale, Washington D.C.
- Iyer N V, 1999, Technology for Cleaner Two and Three-Wheelers : Achievements and Future Challenges. Document présenté à la Confédération du Sommet indien de technologie de l'industrie et de la plate-forme, 28–29 octobre 1999, Hyderabad, Inde.
- Jamerson F E and Benjamin E, 2007, Electric Bikes Worldwide Reports – 20 000 000 Light Electric Vehicles in 2007.
- Harshadeep, 2001, La Banque mondiale, Urban Pollution from Two Stroke Engine Vehicles in Asia : Technical and Policy Options, 2001. Document présenté à l'Atelier Régional de Hanoi (détails ci-dessus), <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi/downloads.asp>.
- Ken Johnson, 2001, Cleaner Two-Stroke Technology. Atelier régional de Hanoi (détails ci-dessus), <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi/downloads.asp>.
- L'Université de Kunming des Sciences et Technologie, 2005, Kunming City Bus Network Optimization.

- Mao J, Lu Z.W, *et al.*, 2006, « The Eco-efficiency of Lead in China's Lead-Acid Battery System. » *Journal of Industrial Ecology* 10 (1-2) : 185-197.
- Marshall J. D, Teoh S K, *et al.*, 2005, « Intake fraction of nonreactive vehicle emissions in US urban areas. » *Atmospheric Environment* 39: 1363-1371.
- Masami Kojima, Carter Brandon & Jitendra Shah, 2000, Improving Urban Air Quality in South Asia by Reducing Emissions from Two-Stroke Engine Vehicles, The World Bank, déc. 2000, <http://www.worldbank.org/html/fpd/esmap/publication/air-quality.html>.
- Masami Kojima *et al.*, 2002, Measurement of Mass Emissions from In-Use Two-Stroke Engine Three-Wheelers in South Asia, SAE 2002-01-1681 (SP 1714), disponible à l'achat sur [http://www.sae.org/servlets/productdetail?PROD\\_TYP=PAPER&PROD\\_CD=2002-01-1681](http://www.sae.org/servlets/productdetail?PROD_TYP=PAPER&PROD_CD=2002-01-1681)).
- Michael Walsh, 2-3 2-3 Wheelers in Asia and their Impact on the Environment. Document présenté à l'Atelier régional Hanoi (détails ci-dessus), <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi/downloads.asp>.
- Ni J, 2008, Electric Two-Wheelers in China : Analysis of Safety, Luyuan Electric Vehicle Company, [http://www.luyuan.cn/showxwdt.asp?art\\_id=117](http://www.luyuan.cn/showxwdt.asp?art_id=117) (in Chinese) 两轮电动车交通安全研究报告.
- Nathan L, 2008, « Comparison of Retrofit Options for Carburetted Two-Stroke Engines », BAQ 2008, Bangkok, 12-14 novembre 2008, <http://www.baq2008.org>.
- Palke D R and Tyo M A, 1999, The Impact of Catalytic After treatment on Particulate Matter Emissions from Small Motorcycles, SAE 1999-01-3299, <http://www.sae.org>.
- Regional Workshop, 2001, Reduction of Emissions from 2-3 Wheelers, 5-7 septembre 2001, Hanoi, Vietnam, <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi>.
- Ribet S, 2005, Two-wheel revolution, The Standard, Hong Kong.
- Rudolf R, Dion B, Zissis S, Leonidas N, 2005, « Particulate matter regulation for two-stroke two wheelers : Necessity or haphazard legislation? » *Atmospheric Environment*, 39, (2005), 2483 – 2490.
- Shivraj W, 2008, « The Cost-Effective Technology Applications of Turbulent Structures in Metallic Honeycomb Substrates », BAQ2008, <http://www.baq2008.org>.
- Sujit Das *et al.*, 2001 « Prospects of Inspection and Maintenance of Two-Wheelers in India », *Journal of the Air & Waste Management Association*, Volume 51, octobre 2001. La correspondance peut être adressée à Sujit Das à Oak Ridge National Laboratory, PO Box 2008, Oak Ridge, TN 37831-6205: e-mail : [dass@ornl.gov](mailto:dass@ornl.gov).
- Sullivan J L, Williams E L, *et al.*, 1998, Life Cycle Inventory of a Generic U.S. Family Sedan Overview of Results USCAR AMP Project, Society of Automotive Engineers.
- Tai Nguyen Van, 2009, « EST Achievements, Progress and Future Strategies », Quatrième Forum des transports écologiquement viables, Centre des Nations Unies pour le développement régional, Séoul, Corée du Sud, 24-26 février 2009, <http://www.uncrd.or.jp>.
- Tata Energy Research Institute (TERI), 1993, Impact of Road Transportation Systems on Energy and the Environment : an Analysis of Metropolitan Cities of India, 1993.
- Tim B, Nathan L, Bryan W, 2004, « Emissions Characterization of a Direct Injection Retro-Fit Kit for Small Two-Stroke Cycle Engines », BAQ 2004, 6-8 décembre, Agra, <http://www.baq2004.org>.
- Weinert J X, Burke A F, *et al.*, 2007, « Lead-acid and lithium-ion batteries for the Chinese electric bike market and implications on future technology advancement », *Journal of Power Sources* In Press.
- Weinert J X, Ma C T, *et al.*, 2007, « The Transition to Electric Bikes in China : Effect on Travel Behavior, Mode Shift, and User Safety Perceptions in a Medium-Sized City », *Transportation Research Record* Forthcoming.
- Banque mondiale, 2001, Cities on the Move : Urban Transport Strategy Review, octobre 2001, <http://www.worldbank.org/transport>.
- Zhou Y, Levy, *et al.*, 2006, « The influence of geographic location on population exposure to emissions from power plants throughout China. » *Environment International* 32(3): 365-373.

## 4.2 Ressources Internet

- Une excellente collection de présentations du Regional Workshop, Reduction of Emissions from 2-3 Wheelers, 5-7 septembre 2001, peut être téléchargé à <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi>.
- Le Centre de Science et Environnement (CSE), <http://www.cseindia.org>. CST est une ONG bien informée et active. Le CST est également activement impliqué avec le Clean Air Initiative-Asie et occupe actuellement la co-présidence de son Comité de Coordination.
- Clean Air Initiative for Asian Cities, géré par la Banque mondiale, la BAD et d'autres, <http://www.worldbank.org/cleanair/caiasia>. Informations sur tous les sujets de gestion de la qualité atmosphérique et des liens vers diverses activités environnementales dans la région. Il dispose d'un espace de discussion sur divers sujets et des idées dans la région.
- Tata Energy Research Institute (TERI), <http://www.teriin.org>. Le site contient des informations utiles sur les questions liées à l'énergie et l'environnement à l'Inde. L'Institut a réalisé des études sur les émissions de GES et de la pollution de l'environnement par la BAD.
- US Environmental Protection Authority, <http://www.epa.gov>. Fournit des informations détaillées sur tous les aspects techniques de la santé de l'environnement, notamment la pollution atmosphérique et les divers polluants.





Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

– Coopération technique allemande –

P. O. Box 5180  
65726 ESCHBORN / GERMANY  
T +49-6196-79-1357  
F +49-6196-79-801357  
E [transport@giz.de](mailto:transport@giz.de)  
I <http://www.giz.de>

**50 ans**  
  
Soyons créateurs d'avenir.  
Ensemble.