



**HAL**  
open science

# Conditions du développement des deux-roues électriques dans la ville de Shanghai

Chao-Fu Yeh, Francis Papon, Sylvie Abours, Claude Soulas

► **To cite this version:**

Chao-Fu Yeh, Francis Papon, Sylvie Abours, Claude Soulas. Conditions du développement des deux-roues électriques dans la ville de Shanghai. *Les Cahiers Scientifiques du Transport / Scientific Papers in Transportation*, 2010, 58 | 2010, pp.29-53. 10.46298/cst.12099 . hal-04152999

**HAL Id: hal-04152999**

**<https://hal.science/hal-04152999v1>**

Submitted on 5 Jul 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

## **CONDITIONS DU DÉVELOPPEMENT DES DEUX-ROUES ÉLECTRIQUES DANS LA VILLE DE SHANGHAI**

CHAO-FU YEH, FRANCIS PAPON,  
SYLVIE ABOURS, CLAUDE SOULAS

CENTRE DE MARNE-LA-VALLÉE  
INRETS

### **1. INTRODUCTION**

La Chine est historiquement un pays phare du vélo, mais, depuis les années 1990, la motorisation s'y développe rapidement. Le fait que les retombées négatives de la motorisation thermique sont aujourd'hui reconnues comme critiques pour l'environnement pousse cependant la Chine à rechercher des modèles alternatifs. Le développement du deux-roues électrique, principalement pour un usage urbain, est une possibilité que l'État chinois soutient par de fortes mesures incitatives : ainsi trouve-t-on en 2008 en Chine 630 fabricants de deux-roues électriques, dont 428 produisent des vélos électriques. Plus de 50 millions de deux-roues électriques circulent déjà en 2009 dans le pays, parmi lesquels une trentaine de millions de vélos électriques (DEVELOPMENT RESEARCH CENTER OF THE STATE COUNCIL, 2009). Le vélo classique est

par ailleurs encore très répandu et le parc de vélos reste très important. Si l'on arrivait à capter au profit du deux-roues électrique ne serait-ce que 10 % des utilisateurs du vélo traditionnel qui pourraient être tentés de passer à un deux-roues thermique, plus rapide, le parc de deux-roues électriques doublerait par rapport à la situation actuelle. C'est l'intérêt de suivre avec attention les évolutions actuelles des répartitions entre modes.

Le soutien aux deux-roues électriques n'est cependant pas exempt d'ambiguïtés, principalement du fait des problèmes induits d'insécurité routière. Ce soutien n'est de ce fait pas absolument linéaire dans le temps et l'on a même assisté dans certaines villes à quelques retournements dans un passé récent. Il n'est pas non plus le fait de toutes les villes, ni de toutes les régions chinoises. À ce stade, il semble indispensable d'étudier l'accidentologie des deux-roues électriques de façon globale, au-delà de certains accidents qui ont marqué les esprits et en comparaison avec celle des autres modes de transport.

La diffusion des deux-roues électriques, certes récente mais très rapide dans le contexte chinois, a déjà suscité de nombreuses discussions autour des bénéfices que ces modes représenteraient pour les usagers et de leurs retombées pour la société. La recherche que nous présentons dans cet article se veut une contribution au débat. Il s'agit de dresser un bilan des deux-roues électriques comparativement aux autres modes en s'appuyant sur les premiers chiffres qui apparaissent dans les enquêtes de déplacement.

Cinq critères seront utilisés à cet effet : les deux premiers, efficacité temporelle et coût, traduisent les bénéfices individuels directement perceptibles par les usagers et sont déterminants pour l'attractivité des modes ; l'insécurité routière affecte les usagers tout autant qu'elle concerne les pouvoirs publics sous le double aspect sanitaire et réglementaire ; les deux derniers, consommation et émissions, sont des indicateurs de la capacité des villes à s'engager sur la voie d'un transport durable. Ce diagnostic se fait donc en croisant les attentes individuelles et les nécessités collectives dont les pouvoirs publics se veulent garants. Les collectivités locales des villes où les deux-roues électriques sont à l'ordre du jour -qu'il soit question d'en favoriser la diffusion ou, à l'inverse, de la freiner pour cause de sécurité insuffisamment maîtrisée-, pourraient s'appuyer sur cet outil.

Nous avons choisi Shanghai comme terrain d'étude parce que les scénarios de mobilité dans cette ville attirent à juste titre l'attention des observateurs. Cependant très peu de réflexions concernent les véhicules électriques et l'étude présentée dans cet article reste exploratoire. Il faut toutefois noter la thèse de CHERRY (2007), qui a estimé les effets de ces véhicules sur l'environnement. À partir de ces résultats, la BANQUE ASIATIQUE DE DÉVELOPPEMENT (2009) a récemment étudié l'impact sur l'environnement des véhicules électriques, des scénarios de motorisation et des perspectives technologiques sur les batteries.

La première partie de cet article dresse un panorama de la mobilité à Shanghai. On insiste tout particulièrement sur les évolutions des deux décennies passées. La partie suivante présente les caractéristiques techniques des deux-roues électriques dans l'ensemble des deux-roues. Il s'agit d'évaluer comment ce nouveau mode de transport se positionne vis-à-vis de modes qu'il est censé remplacer ou compléter. On s'y intéresse également aux usagers des deux-roues électriques.

Différents modes de transport, motorisés ou non, individuels ou collectifs, sont ensuite évalués au regard des cinq critères. Les points forts des deux-roues électriques mis en évidence par ce diagnostic comparatif permettent d'envisager des potentiels de report modal, tandis que les points faibles font l'objet de propositions d'amélioration.

La question du soutien des municipalités à la diffusion des deux-roues électriques et des formes qu'il peut prendre est abordée en fin d'article.

## 2. LA MOBILITÉ À SHANGHAI

Les deux-roues électriques ont fait une percée remarquable en quelques années à Shanghai.

De 0,22 million en 2003, ils sont passés à près de 2 millions en 2007, soit une multiplication du parc par 9 en quatre ans. Ils représentent à cette date déjà le quart des vélos traditionnels, encore au nombre de 8 millions (CHINA BICYCLE, 2008).

Pour leur part, les deux-roues motorisés, motorisation électrique comprise, sont passés de 0,18 million d'unités en 1998 à 1,3 million en 2008 (SHANGHAI MUNICIPAL STATISTICS BUREAU), soit une croissance du parc d'un facteur 7.

Le nombre de déplacements quotidiens a fortement augmenté à Shanghai sur la période 1986-2004, tout particulièrement pendant la seconde décennie. En effet, il est passé respectivement de 20,9 millions en 1986 à 24 millions en 1995, puis 37,9 millions en 2004 (SCCTPI, 2005).

En matière de répartition modale, plusieurs informations peuvent être tirées du Tableau 1<sup>1</sup>.

- La part des déplacements individuels motorisés (voiture et deux-roues motorisé) dans les déplacements a augmenté de près de 20 points en deux décennies.
- Après une baisse en 1995, la part modale du transport public (métro, bus et

<sup>1</sup> Le gouvernement municipal de Shanghai et l'institut de planification des transports de Shanghai (SCCTPI) ont mené une grande enquête de transports à l'échelle de la métropole, laquelle était divisée en 309 zones. Elle a mobilisé 40 000 enquêteurs. Au total, 200 000 questionnaires ont été distribués aléatoirement à 30 000 ménages, 20 000 organismes et 70 000 conducteurs automobiles. Il est possible qu'existent certains biais statistiques dans la comparaison du fait de critères d'enquête différents aux différentes dates.

taxi) retrouve presque son niveau de 1986, pour partie grâce au métro mis en service en 1995.

- Les modes non motorisés ont perdu 18 points sur la période. Cette évolution peut être mise en regard de l'augmentation de 20 points de la part modale des véhicules motorisés individuels. Les modes non motorisés se seraient reportés davantage sur la motorisation individuelle que sur le transport public. En fait, comme le volume de déplacements a presque doublé, le trafic de tous les modes, y compris celui de la marche et du vélo, a augmenté, mais celui des véhicules motorisés individuels a connu une explosion d'un facteur 17.

- Plus d'un quart des Shanghaiens utilisent cependant encore le vélo traditionnel pour leurs déplacements quotidiens, tandis que la marche se stabilise autour de 30 %.

*Tableau 1 : Évolution de la répartition modale des déplacements quotidiens à Shanghai*

|                      | 1986          | 1995          | 2004          |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Voiture              | 2,2 %         | 5,9 %         | 11,3 %        |
| Deux-roues motorisé  | 0,2 %         | 5,0 %         | 10,6 %        |
| <i>Ensemble</i>      | <i>2,4 %</i>  | <i>10,9 %</i> | <i>21,9 %</i> |
| Métro et traina      | 0,1 %         | 0,5 %         | 2,5 %         |
| Bus                  | 24,7 %        | 16,5 %        | 16,0 %        |
| Taxi                 | 0,2 %         | 3,0 %         | 5,2 %         |
| <i>Ensemble</i>      | <i>25,0 %</i> | <i>20,0 %</i> | <i>23,7 %</i> |
| Bicyclette           | 31,3 %        | 38,7 %        | 25,2 %        |
| Marche               | 41,3 %        | 30,4 %        | 29,2 %        |
| <i>Ensemble</i>      | <i>72,6 %</i> | <i>69,1 %</i> | <i>54,4 %</i> |
| <i>Total général</i> | <i>100 %</i>  | <i>100 %</i>  | <i>100 %</i>  |

Source : SCCTPI, 2005

Ces résultats sont-ils à moduler selon la zone géographique considérée ? Une première distinction peut être faite entre ville centre et banlieue. Le découpage pour l'aménagement de la Municipalité de Shanghai est le suivant : une ville centre délimitée par le périphérique extérieur, qui s'étend sur 682 km<sup>2</sup> (SCCTPI, 2005) et recouvre en grande partie dix districts administratifs (distingués sur la Figure 1 par des dégradés de couleur). Le réseau de métro s'étend pour l'instant jusqu'à ce périphérique extérieur. Les zones au-delà du périphérique extérieur définissent la banlieue. La surface de la banlieue à Shanghai couvre 5 658 km<sup>2</sup>, la surface totale de la Municipalité étant de 6 340 km<sup>2</sup>.

Le Tableau 2 présente l'évolution entre 1986 et 2004 de la répartition modale de l'ensemble des déplacements quotidiens à Shanghai selon qu'ils sont réalisés en ville centre ou en banlieue. Les observations suivantes peuvent en être déduites.

- En ville centre, le vélo et la marche résistent plutôt bien, perdant chacun à

peine un peu plus de 4 points. La croissance de la part modale de la voiture est du même ordre qu'en banlieue, mais, dans cette zone où les résidents sont plus riches, c'est elle qui explique la plus grande part de la croissance des modes motorisés, la croissance des deux-roues motorisés restant contenue. Le transport collectif, avec son réseau de métro et de bus bien structuré, bien maillé et bénéficiant de bonnes fréquences, assure 24,4 % des déplacements en 2004. Il limite quelque peu l'équipement en véhicules motorisés.

• En banlieue, les modes non motorisés perdent 35 points en près de deux décennies, car les distances plus longues poussent à chercher une alternative à la marche ou au vélo classique. En l'absence de métro, l'offre de transport collectif est trop faible pour constituer une réponse pertinente généralisée (à peine 9,4 % de part modale en 2004). À la faveur de revenus en augmentation l'évolution profite principalement aux modes motorisés. La part de la voiture y est en 2004 comparable à celle observée en ville centre et c'est l'essor des deux-roues motorisés qui explique ici la plus grande partie de la croissance des modes motorisés

Tableau 2 : Évolution de la répartition modale des déplacements à Shanghai dans la ville centre et la banlieue

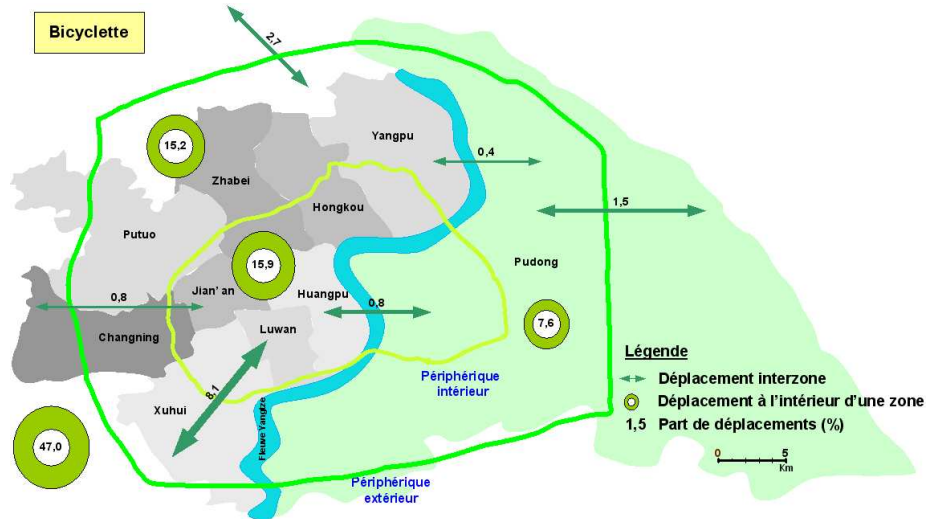
|                      | Ville centre |        | Banlieue |        |
|----------------------|--------------|--------|----------|--------|
|                      | 1986         | 2004   | 1986     | 2004   |
| Voiture              | 2,4 %        | 11,0 % | 2,0 %    | 11,6 % |
| Deux roues motorisé  | 0,1 %        | 5,5 %  | 0,9 %    | 18,7 % |
| <i>Ensemble</i>      | 2,5 %        | 16,5 % | 2,9 %    | 30,3 % |
| Métro et train       | –            | 3,6 %  | –        | 0,7 %  |
| Bus                  | 35,5 %       | 20,8 % | 5,4 %    | 8,7 %  |
| Taxi                 | 0,2 %        | 6,2 %  | 0,1 %    | 3,7 %  |
| <i>Ensemble</i>      | 35,7 %       | 30,6 % | 5,4 %    | 13,2 % |
| Bicyclette           | 24,9 %       | 20,6 % | 41,9 %   | 32,3 % |
| Marche               | 36,9 %       | 32,3 % | 49,8 %   | 24,3 % |
| <i>Ensemble</i>      | 61,8 %       | 52,9 % | 91,7 %   | 56,6 % |
| <i>Total général</i> | 100          | 100    | 100      | 100    |

Source : SCCTPI, 2004

Le vélo traditionnel permet encore en 2004 de réaliser plus de 20 % des déplacements en ville centre et de 32 % en banlieue. La Figure 1, qui présente les flux des déplacements réalisés en vélo traditionnel à Shanghai, permet d'affiner ce résultat. On observe que les déplacements par ce mode se font plutôt au sein d'une même zone et sont en revanche marginaux entre zones. Ceci est en accord avec la valeur de 3,5 km obtenue pour la distance moyenne parcourue en vélo traditionnel à Shanghai<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> PAN (2006) indique un temps moyen de déplacement à vélo de 16,7 min. Ceci correspond à une distance moyenne de déplacement à vélo de 3,5 km, si l'on considère une vitesse moyenne de 12 km/h.

Figure 1 Distribution des déplacements en vélo traditionnel à Shanghai



Source : D'après les données de CHEN (2007)

Les deux-roues électriques sont de nouveaux venus dans le paysage de la mobilité à Shanghai. Avant de procéder au diagnostic sur l'ensemble des modes, nous allons en donner la définition, préciser ce qui les caractérise sur le plan technique par rapport aux autres deux-roues, car de là découlent des performances qui conditionnent en partie leur pertinence pour une ville comme Shanghai, et enfin esquisser un tableau de leurs utilisateurs.

### 3. LES DEUX-ROUES ÉLECTRIQUES ET LEURS USAGERS

Dans le contexte chinois, le terme vélo électrique désigne un véhicule qui peut fonctionner en permanence sur batteries, ce qui n'est pas le cas du vélo à assistance électrique (VAE), diffusé en France par exemple.

Selon la réglementation en vigueur en Chine, le vélo électrique est classé parmi les modes non motorisés, de sorte que son usager n'a pas besoin de permis de conduire, n'est pas tenu de porter un casque et peut utiliser les aménagements cyclables. Du fait de la législation sur les modes non motorisés, il est soumis à une limitation de vitesse à 15 km/h. La règle technique générale sur les vélos électriques publiée par l'État en l'an 2000 impose à ces véhicules une puissance limitée à 240 W, une consommation inférieure à 1,2 kWh aux 100 km et un bridage à 20 km/h.

D'après la toute nouvelle loi du 1 janvier 2010 sur *les conditions techniques générales du vélo électrique et de la moto électrique*, les véhicules dont le poids dépasse 40 kg et dont la vitesse dépasse 20 km/h sont classés parmi les deux-roues motorisés ; ils doivent en conséquence être immatriculés et assurés ; leurs conducteurs doivent posséder le permis de conduire.

Le cyclomoteur électrique chinois étant généralement un véhicule à cadre bas, nous utilisons le terme de scooter électrique dans la suite de l'article.

### 3.1. LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES VÉHICULES À DEUX ROUES

Le Tableau 3 compare les caractéristiques techniques du vélo traditionnel et des deux-roues motorisés, lesquels se distinguent en particulier par la puissance du moteur.

Tableau 3 Principales caractéristiques des deux-roues

|   | Vélo traditionnel | Vélo électrique            | Scooter électrique                | Scooter thermique                       |
|---|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|
| Puissance (selon la batterie ou la cylindrée) | –                 | 0,24 kW<br>(48 V ; 12 A.h) | 0,30 à 0,50 kW<br>(48 V ; 22 A.h) | 3 à 5 kW<br>(50 à 125 cm <sup>3</sup> ) |
| Poids (kg)                                    | 20                | < 40                       | > 40                              | 130                                     |
| Vitesse maximale (km/h)                       | 15 à 20           | 20 à 30                    | 30 à 60                           | 60 à 80                                 |
| Portée maximale (km)                          | 20                | 30 à 40                    | 60 à 80                           | > 100                                   |
| Consommation aux 100 km                       | 0                 | < 1,2 kWh <sup>a</sup>     | 1,5 à 2,5 kWh                     | 2-3 L                                   |
| Occupation du véhicule (personnes)            | 1                 | 1                          | 2 maximum                         | 2 maximum                               |

<sup>a</sup> La consommation dépend du temps durant lequel le moteur électrique fonctionnant sur batterie rechargeable est utilisé en appoint du pédalage. La valeur de 1,2 kWh donnée ici est maximale et correspond au cas où les batteries sont utilisées en permanence.

Nous voyons sur le Tableau 3 que les deux-roues électriques sont intermédiaires entre le vélo traditionnel et le scooter thermique sur toutes les caractéristiques. Selon les données de l'enquête locale de transport (SCCTPI, 200), la distance moyenne couverte lors d'un déplacement en scooter thermique à Shanghai est d'environ 11 km, la vitesse moyenne étant de 20 . Sur le plan technique, les deux-roues électriques, vélo comme scooter, sont capables de telles performances.

Le vélo électrique, et plus encore le scooter, ont des portées compatibles avec les déplacements interzones (Cf. Figure 1), moins facilement réalisables en vélo traditionnel. Leurs bonnes potentialités en termes de vitesse et de portée ont évidemment déterminé un changement dans la situation du vélo traditionnel à Shanghai. C'est ainsi que plus de 50 % des usagers d'un deux-roues électrique étaient cyclistes auparavant (CHINA BICYCLE, 2007).

### 3.2. LES CARACTÉRISTIQUES DES USAGERS DES DEUX-ROUES ÉLECTRIQUES

L'enquête locale de transport de Shanghai a recueilli les caractéristiques des usagers en relation avec les modes qu'ils utilisent. Comme le véhicule possédé est en général employé pour réaliser essentiellement les déplacements quotidiens, certaines caractéristiques des individus, telles que l'âge, le



revenu, la profession (y compris retraite) structurent fortement leur mobilité. Le Tableau 4 exploite les résultats du travail de DONG (2008)<sup>3</sup> pour apprécier la variabilité parmi les usagers des deux-roues électriques à Shanghai.

*Tableau 4 : Répartition des déplacements en deux-roues électriques à Shanghai selon les caractéristiques socio-professionnelles des usagers et leur motif de déplacement*

| Âge             | < 20 ans                | 20-29 ans   | 30-39 ans   | 40-49 ans  | 50-59 ans | > 60 ans | Ensemble |
|-----------------|-------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|----------|----------|
|                 | 4 %                     | 18 %        | 32 %        | 30 %       | 14 %      | 2 %      | 100 %    |
| Revenu (yuans)  | < 1 000                 | 1 000-2 000 | 2 000-3 000 | 3 000-5000 | > 5000    | Ensemble |          |
|                 | 2 %                     | 31 %        | 42 %        | 19 %       | 6 %       | 100 %    |          |
| Profession      | Élève                   | Employé     | Cadre       | Retraité   | Autre     | Ensemble |          |
| Heure de pointe | 2 %                     | 73 %        | 23 %        | 2 %        | 0 %       | 100 %    |          |
| Heure creuse    | 1 %                     | 78 %        | 18 %        | 4 %        | 4 %       | 100 %    |          |
| Motif           | Domicile-travail/études |             | Affaires    | Loisirs    | Autre     | Ensemble |          |
| Heure de pointe | 83 %                    |             | 9 %         | 4 %        | 4 %       | 100 %    |          |
| Heure creuse    | 41 %                    |             | 37 %        | 22 %       | 0 %       | 100 %    |          |

Source : DONG, 2008

Nous y observons deux points cruciaux pour l'usage des deux-roues électriques.

- Leurs usagers se situent dans leur grande majorité entre 30 et 50 ans et presque tous entre 20 et 60. Il n'est donc pas étonnant qu'on y trouve peu d'élèves et peu de retraités, mais plutôt des actifs, réalisant principalement leurs déplacements domicile-travail<sup>4</sup>. Parmi ceux-ci, les employés sont majoritaires.
- Le revenu moyen de ces usagers est principalement compris entre 1 000 et 3 000 yuans par mois (ce que l'on peut rapprocher du fait que les employés sont les plus nombreux à utiliser ce mode). Il est inférieur au revenu moyen à Shanghai (3 500 yuans par mois en 2008). Autrement dit, le facteur monétaire est important pour l'usage du deux-roues électrique.

Par ailleurs, les usagers des scooters électriques présentent des caractéristiques socio-professionnelles et des motifs de déplacement proches de ceux des usagers du scooter thermique, tels qu'ils apparaissent dans les statistiques publiées par China Bicycle. La possibilité d'attirer certains usagers du scooter thermique par des arguments de coût n'est donc pas exclue.

#### 4. L'EFFICACITÉ DES MODES DE DÉPLACEMENT DU POINT DE VUE DES USAGERS

Nous débutons le diagnostic comparatif des différents modes de transport par deux éléments fondés sur l'approche économique qui influencent le choix modal des usagers dans le cadre de leurs déplacements quotidiens : l'effica-

<sup>3</sup> Il exploite les résultats d'une enquête portant sur 350 individus usagers des deux-roues électriques.

<sup>4</sup> En France, les usagers du VAE se retrouvent plutôt dans la tranche des 30-45 ans, hommes et femmes confondus, qui souhaitent utiliser un autre mode que la voiture pour effectuer leurs trajets domicile-travail (BOULEISTEX, 2008).

cité monétaire du déplacement fait référence aux dépenses supportées par l'usager du transport, sous forme de coûts fixes et de coûts variables, tandis que l'efficacité temporelle du déplacement fait référence aux temps passés en déplacements.

#### 4.1. L'EFFICACITÉ MONÉTAIRE

Elle peut être estimée comme les coûts monétaires, rapportés au voyageur.km, qui sont à la charge d'un individu pour la réalisation d'un déplacement.

Il convient de distinguer un coût fixe, lié à la détention du véhicule (amortissement annuel), et un coût variable, lié à son usage.

Le coût de détention d'un véhicule individuel comprend souvent plus que le coût d'achat. Dans le cas d'une voiture, nous ne tenons cependant pas compte ici du coût d'une immatriculation qui, en 2006 à Shanghai, pouvait être adjugée aux enchères pour 50 000 yuans, soit environ le quart du prix d'achat.

Pour les usagers du transport collectif (bus et métro) et du taxi, le coût de détention est nul.

Quant au coût d'usage, il comprend le coût de l'énergie consommée (carburant ou électricité) et le coût de l'entretien pour tous les véhicules individuels.

Pour les modes de transport collectif et le taxi, le coût d'usage s'appuie sur les tarifs imposés aux usagers.

Le Tableau 5 synthétise les coûts de détention et d'usage calculés selon ces critères. La dernière ligne permet de comparer directement les coûts des différents modes à celui du vélo traditionnel, pris comme référence.

Nous voyons que les deux-roues électriques sont nettement plus abordables que le scooter thermique et surtout que la voiture personnelle et le taxi. La valeur donnée ici pour le coût d'usage de la voiture correspond au taux moyen d'occupation des véhicules à Shanghai, soit 2,5 selon l'enquête locale de déplacement (SCCTPI, 2005)<sup>5</sup>. En cas d'utilisation comme conducteur seul, ce dernier chiffre intervient comme facteur multiplicatif du coût, ce qui creuse encore l'écart.

Par ailleurs, le vélo traditionnel et même les deux-roues électriques coûtent moins à l'usager que le transport collectif. Il y a cependant une volonté forte à Shanghai de continuer à améliorer l'offre de transport collectif dans la ville centre, ce qui pourra suffire dans bien des cas à assurer les déplacements

---

<sup>5</sup> De la comparaison du taux d'occupation moyen de 2,5 passagers (SCCTPI, 2005) à son équivalent francilien de 1,28 (STIF, 2002-2003), on peut déduire que l'accompagnement est un motif important de l'usage de la voiture à Shanghai.

interzones. Ce ne sera pas le cas en banlieue, car le transport collectif n'est pas amené à s'y densifier de la même manière. Dans ces territoires, le report modal sur les deux-roues motorisés est déjà beaucoup plus fort (Cf. Tableau 2). Porté principalement par le scooter thermique, il pourrait s'orienter vers les deux-roues électriques, modes proches en termes de mobilité permise, mais moins chers pour l'utilisateur.

*Tableau 5 : Éléments pris en compte pour le calcul d'un kilomètre de déplacement réalisé selon les différents modes de transport*

|   | Vélo                                     | Vélo électrique  | Scooter électrique          | Scooter thermique  | Voiture                  | Métro              | Bus        | Taxi        |        |
|---|--|------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|------------|-------------|--------|
| Coût de détention <sup>a</sup>                  | Coût d'achat <sup>b</sup> en yuans       | 300              | 1 600                       | 2 800              | 4 700                    | 226 000            | -          | -           | -      |
|   | Durée de vie en années                   | 7,5 <sup>c</sup> | 6                           | 6                  | 9                        | 12                 | -          | -           | -      |
|   | Amortissement en yuans/an                | 46,9             | 296,7                       | 519,3              | 880                      | 25 730             | -          | -           | -      |
|   | Kilométrage annuel moyen                 | 2 000            | 3 000 <sup>d</sup>          | 4 250 <sup>e</sup> | 6 450                    | 10 000             | -          | -           | -      |
|   | Occupation en personnes par véhicule     | 1,0              | 1,0                         | 1,0                | 1,07                     | 2,5                | -          | -           | -      |
|   | Coût unitaire en yuans par voyageur × km | 0,023            | 0,099                       | 0,122              | 0,130                    | 1,030              | -          | -           | -      |
| en part du salaire horaire                      | 0,11 %                                   | 0,46 %           | 0,56 %                      | 0,60 %             | 4,70 %                   | -                  | -          | -           |        |
| Coût d'usage                                    | Consommation aux 100 km                  | -                | 1,2 kWh                     | 1,5 kWh            | 3 L                      | 9,5 L              | -          | -           | -      |
|   | Coût d'entretien en yuans/an             | 87               | 200                         | 350                | 500                      | 5 000 <sup>f</sup> | -          | -           | -      |
|   | Prix d'énergie unitaire                  | -                | 0,45 yuans/kWh <sup>g</sup> | -                  | 5,5 yuans/L <sup>h</sup> | -                  | -          | -           | -      |
|   | Coût unitaire en yuans par voyageur × km | 0,043            | 0,072 <sup>i</sup>          | 0,090              | 0,243                    | 1,023              | 0,390      | 0,300       | 1,900  |
| en part du salaire horaire                      | 0,20 %                                   | 0,33 %           | 0,41 %                      | 1,12 %             | 4,71 %                   | 1,79 %             | 1,38 %     | 8,76 %      |        |
| Total   | Coût unitaire en yuans par voyageur × km | 0,066            | 0,171                       | 0,212              | 0,373                    | 2,053              | 0,390      | 0,300       | 1,900  |
|   | en part du salaire horaire               | 0,31 %           | 0,79 %                      | 0,97 %             | 1,72 %                   | 9,46 %             | 1,79 %     | 1,38 %      | 8,76 % |
| <b>Surcoût par rapport au vélo traditionnel</b> | <b>Base 1</b>                            | <b>2,6</b>       | <b>3,1</b>                  | <b>5,7</b>         | <b>31,1</b>              | <b>5,9</b>         | <b>4,5</b> | <b>28,8</b> |        |

a Ne comprend pas le coût de l'assurance pour les véhicules qui en ont besoin, ni le coût de l'immatriculation de la voiture (qui fait l'objet d'enchères depuis 2000).

b Le coût d'achat moyen des véhicules est estimé sur la base des données disponibles sur le site web qui fournit les prix actuels des différents véhicules.

c Estimation faite dans (PAPON, 2002).

d On suppose que le parcours annuel moyen d'un vélo électrique est 1,5 fois celui d'un vélo traditionnel, soit 3 000 km.

e On suppose que le parcours annuel moyen d'un scooter électrique est intermédiaire entre ceux d'un vélo électrique et d'un scooter thermique, soit 4 250 km.

f Comprend le coût de stationnement et de péage.

g Moyenne du prix à Shanghai du kWh en heures de pointe (6 h à 22 h), soit 0,61 yuans et en heures creuses (22 h à 6 h), soit 0,30 yuans.

h Moyenne du prix de l'essence à Shanghai depuis 2008.

i Le salaire horaire moyen est de 21,7 yuans à Shanghai (LIU, 2007).

j Ce chiffre correspond à une utilisation des batteries en permanence ; dans le cas où le cycliste pédalerait la moitié du temps, le coût unitaire serait de 0,069 yuan par voyageur.km et 0,32 % du salaire horaire.

En revanche, compte tenu des coûts très élevés liés à l'usage de l'automobile à Shanghai, les automobilistes appartiennent à des milieux socio-économiques plus élevés que la moyenne et ne renonceront pas à la voiture, objet

de prestige, sur la base de considérations économiques qui ont moins de poids pour eux.

#### 4.2. L'EFFICACITÉ TEMPORELLE

Au cœur des comportements de mobilité, les budgets temps de transport, composante essentielle du coût généralisé de transport, permettent d'analyser une part des comportements de mobilité, ainsi que certaines dynamiques urbaines. L'hypothèse principale conduit à les considérer comme constants et ce, partout dans le monde (ZAHAVI, TALVITIE, 1980).

Il ressort des résultats de l'enquête locale de transport (SCCTPI, 2005) que, à Shanghai aussi, le nombre des déplacements quotidiens, ainsi que les distances parcourues s'accroissent dans les limites de budgets-temps globalement constants. Tandis que le nombre des déplacements quotidiens passait de 24 à 37,9 millions entre 1995 et 2004 (Cf. 2), la distance quotidienne moyenne parcourue en voiture passait de 51 à 55 km. Pour réaliser des activités plus éloignées, les usagers se tournent vers des modes plus rapides.

L'efficacité temporelle de tel ou tel mode de transport fait référence au temps qu'il en coûte à un voyageur pour effectuer une même distance de déplacement selon le mode choisi. On l'exprime par un coût du temps par unité de distance, rapport de la valeur du temps à la vitesse moyenne (Tableau 6). La dernière ligne compare les gains de temps permis par l'usage de modes plus rapides que le vélo traditionnel, pris comme référence.

Tableau 6 : L'efficacité temporelle des différents modes pour un voyageur

|  | Vélo   | Vélo électrique | Scooter électrique | Scooter thermique | Voiture | Méto | Bus  |
|--|--------|-----------------|--------------------|-------------------|---------|------|------|
| Longueur moyenne d'un déplacement en km (1)                  | 3,9    | 6,0             | 8,0                | 11,9              | 20,0    | 10,1 | 9,8  |
| Durée moyenne d'un déplacement en min. <sup>a</sup> (2)      | 21,9   | 26,7            | 29,3               | 37,8              | 53,6    | 40,4 | 47,0 |
| Vitesse moyenne en km/h (3) = (1)/(2)                        | 10,7   | 13,5            | 16,4               | 18,9              | 22,4    | 15,0 | 12,5 |
| Coût du temps en yuans par véh.km <sup>b</sup> (4) = VdT/(3) | 1,42   | 1,13            | 0,93               | 0,80              | 0,68    | 1,01 | 1,22 |
| Gain de temps par rapport au vélo traditionnel               | Base 1 | 0,80            | 0,65               | 0,56              | 0,48    | 0,71 | 0,86 |

a De porte à porte, y compris donc le temps passé à rejoindre le mode, lequel est en général proche de zéro pour un deux-roues, mais peut être important pour une voiture et encore plus pour un méto ou un bus si l'arrêt est éloigné.

b La valeur du temps (VdT) est supposée égale à 70 % du salaire horaire moyen, soit 15,2 yuans (LIU, 2007).

Source : Estimation faite d'après des données SCCTPI

Les faibles vitesses moyennes trouvées pour le vélo, traditionnel aussi bien qu'électrique, reflètent en partie le fait que ces modes sont soumis, aujourd'hui en Chine, à la limitation de vitesse de 15 km/h applicable aux modes non motorisés. Si de nombreux cyclistes traditionnels roulent en deçà de cette vitesse, ce peut être un obstacle pour les plus rapides. À Copenhague, où des ondes vertes vélo ont été mises en place, elles sont calées sur la vitesse, moyenne pour les cyclistes de cette ville, de 20 km/h, ce qui suppose une vitesse maximale supérieure. Quant au vélo électrique, ses potentialités

en termes de vitesse sont encore plus élevées. La norme française NF/R30 et la directive européenne 92/61/EEC imposent la coupure de l'assistance électrique de ces vélos à 25 km/h seulement (<http://www.espacemobelec.fr/>).

En termes d'efficacité temporelle, les deux-roues électriques sont en position intermédiaire entre d'un côté le transport collectif et le vélo traditionnel et de l'autre les véhicules individuels à motorisation thermique qui bénéficient d'une vitesse plus élevée. La différence entre le scooter thermique et le scooter électrique n'est cependant pas de nature à remettre en cause le développement actuel de ce dernier à Shanghai, ni sa capacité à séduire par son coût moindre une partie des usagers du scooter thermique. Il n'en va pas de même pour la voiture. Son écart de vitesse par rapport aux deux-roues électriques est important et l'argument du coût pèse peu aux yeux de ses usagers, plus riches que la moyenne.

## **5. L'INSÉCURITÉ ROUTIÈRE DES DIFFÉRENTS MODES**

Le développement des deux-roues électriques se heurte malheureusement à l'insécurité, notamment dans les zones denses. C'est la raison invoquée par la ville de Guangzhou au Sud de la Chine pour en interdire l'usage à partir de 2006.

Dans le cadre d'une réflexion sur des scénarios de transport urbain, il est indispensable d'analyser l'insécurité routière associée à chaque mode, puis de proposer des mesures susceptibles d'éviter des coûts sociaux trop lourds. Cette analyse est compliquée dans le cas des deux-roues électriques, car il existe peu de statistiques d'accidents spécifiques à ces modes apparus récemment. On est en outre confronté à un problème d'hétérogénéité, les accidents des deux-roues électriques étant parfois intégrés à ceux des modes non motorisés (parmi lesquels la réglementation les classe) et, même lorsque leurs accidents spécifiques sont connus, ceux-ci sont rarement ventilés en vélo électrique et scooter électrique, alors que les accidentologies sont différentes.

### *5.1. STATISTIQUES DES ACCIDENTS ROUTIERS EN CHINE*

Le Tableau 7 présente les statistiques d'accidents pour chacun des modes en 2007 en Chine, en précisant en outre la responsabilité dans l'accident telle que définie par la Police de la circulation. Il montre une augmentation des accidents de deux-roues électriques et de leur gravité (le nombre des tués augmente plus vite que le nombre des accidents), tandis que dans le même temps les accidentologies de tous les autres modes diminuent, parfois fortement. La part des deux-roues électriques dans l'accidentologie routière reste cependant faible par rapport à celle des modes motorisés (scooter thermique et voiture), puisque ce mode n'est crédité que de 3,9 % des impliqués et 2,5 % des morts. Remarquons pourtant qu'une comparaison en termes de

taux d'accidents (accidents rapportés au parc ou au kilométrage parcouru) serait d'autant plus souhaitable qu'il n'y pas de deux-roues électriques partout en Chine. Si l'insécurité associée aux deux-roues électriques ne justifie pas leur interdiction, son augmentation avec la montée en puissance de ce mode plaide pour que soient mises en place sans tarder une réglementation adaptée et des mesures de prévention spécifiques, au risque sinon que leur développement rapide en Chine ne soit remis en cause.

Tableau 7 : Accidentologie routière par mode en Chine pour l'année 2007

|                       | Implication dans un accident <sup>a</sup> |  |                  |                               | Responsabilité dans l'accident <sup>b</sup> |                               |                        |                               |
|-----------------------|---|--|------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|
|                       | Impliqués                                 | Variation <sup>c</sup><br>2006-2007<br>(%) | Tués             | Variation<br>2006-2007<br>(%) | Respon-<br>sables                           | Variation<br>2006-2007<br>(%) | Tués res-<br>ponsables | Variation<br>2006-2007<br>(%) |
| Marche                | 37 494<br>13,5 %                          | - 5,4                                      | 6 937<br>11,8 %  | -3,2                          | 6 522<br>4,0 %                              | - 9,2                         | 951<br>2,7 %           | - 8,7                         |
| Vélo                  | 19 928<br>7,2 %                           | - 20,1                                     | 4 127<br>7,0 %   | -16,2                         | 2 673<br>1,6 %                              | - 27,7                        | 486<br>1,4 %           | - 23,1                        |
| Deux-roues électrique | 10 931<br>3,9 %                           | + 34,3                                     | 1 455<br>2,5 %   | + 61,9                        | 2 646<br>1,6 %                              | + 29,2                        | 280<br>0,8 %           | + 55,6                        |
| Scotter thermique     | 76 129<br>27,4 %                          | - 19,9                                     | 13 984<br>23,8 % | -17,0                         | 44 116<br>27,1 %                            | - 22,6                        | 8 249<br>23,2 %        | - 19,4                        |
| Voiture               | 133 131<br>48,0 %                         | - 15,4                                     | 32 264<br>54,9 % | -11,7                         | 107 071<br>65,7 %                           | - 18,1                        | 25 616<br>72,0 %       | - 15,2                        |
| Total                 | 277 613<br>100 %                          | ---  | 58 767<br>100 %  | ---                           | 163 028<br>100 %                            | ---                           | 35 582<br>100 %        | ---                           |

a Chaque accident peut impliquer plusieurs modes.

b Responsabilité dans l'accident imputée par la Police de la circulation.

c Selon les statistiques nationales d'accidents, les baisses constatées pour la plupart des modes remontent à l'année 2004.

Source: TRANSPORTATION MANAGEMENT RESEARCH INSTITUTE, China (2007)

Le Tableau 7 nous informe également sur le mode pratiqué par l'utilisateur à qui la responsabilité de l'accident est imputée par la Police de la circulation. Nous voyons ainsi que c'est le cas pour près du quart des usagers d'un deux-roues électrique dans les accidents impliquant ce mode. Un rappel des règles et des mesures d'éducation à la circulation routière sont à recommander.

## 5.2. STATISTIQUES DES ACCIDENTS DE LA ROUTE À SHANGHAI

À Shanghai, les accidents du vélo électrique sont inclus dans les accidents des modes non motorisés. Nous pouvons donc comparer seulement l'accidentologie des divers modes motorisés à celle des modes non motorisés pris dans leur ensemble (Tableau 8). Dans les provinces du Jiangsu et du Zhejiang, des statistiques plus fines ont permis de montrer que la mortalité rapportée au kilométrage parcouru est plus élevée pour le vélo électrique que pour le vélo traditionnel (CHERRY, 2007).

C'est la voiture qui à Shanghai a l'accidentologie la plus élevée. Les taux d'accidents et de tués (nombres rapportés au kilométrage parcouru) en voiture et en deux-roues motorisé sont cependant très proches, tandis que le taux de blessés est plus élevé pour les deux-roues motorisés que pour la voiture. Ces taux font plus du double des taux correspondant aux modes non

motorisés.

L'accidentologie des vélos traditionnels et électriques est nettement plus élevée au centre qu'en banlieue, alors même que les distances de déplacement y sont plus faibles, et elle se rapproche dans cette zone de celle des deux-roues motorisés. La circulation en zone urbaine est certes plus complexe et des mesures de sécurité particulières en faveur des deux-roues électriques devront être envisagées.

Tableau 8 : Nombre d'accidents de circulation à Shanghai en 2005

| Zone  | Nombres   | Voiture | Bus   | Deux-roues motorisé | Modes non motorisés |                   |
|---|-----------|---------|-------|---------------------|---------------------|-------------------|
|   |           |         |       |                     | Marche              | Vélo <sup>a</sup> |
| Ville centre  | Accidents | 2 901   | 219   | 730                 | 526                 | 633               |
|   | Tués      | 323     | 43    | 90                  | 38                  | 92                |
|   | Blessés   | 2 801   | 221   | 804                 | 533                 | 577               |
| Banlieue  | Accidents | 1 330   | 51    | 625                 | 113                 | 208               |
|   | Tués      | 235     | 12    | 82                  | 31                  | 53                |
|   | Blessés   | 1 270   | 61    | 731                 | 102                 | 180               |
| Ensemble  | Accidents | 4 231   | 270   | 1 355               | 639                 | 841               |
|   | Tués      | 558     | 55    | 172                 | 69                  | 145               |
|   | Blessés   | 4 071   | 282   | 1 535               | 635                 | 757               |
| Trafic (en milliards de voyageurs.km)                         |           | 25,05   | 25,56 | 8,09                | 20,2                |                   |
| Taux d'accidents <sup>b</sup>                                 | Accidents | 168,9   | 10,6  | 167,5               | 73,3                |                   |
|   | Tués      | 22,3    | 2,15  | 21,3                | 10,6                |                   |
|   | Blessés   | 162,5   | 11,0  | 189,7               | 68,9                |                   |
| Coût des accidents <sup>c</sup><br>(en yuans par voyageur.km) |           | 0,014   | 0,001 | 0,014               | 0,006               |                   |

a Y compris électrique.

b Taux d'accidents = Nombre d'accidents rapporté aux kilomètres parcourus par voyageur ; ce dénominateur est moins pertinent pour les modes non motorisés, marche et vélo traditionnel, pour lesquels les distances par déplacement sont plus faibles ; malgré ce biais, leurs taux d'accidents sont moindres que ceux des véhicules motorisés.

c L'indemnité moyenne pour la mort dans les accidents routiers, y compris frais de funérailles, est évaluée à environ 0,4 million de yuans, selon la norme d'indemnité des accidents routiers à Shanghai. De plus, l'indemnité moyenne pour les blessés graves et légers, qui dépend du nombre de journées d'hospitalisation et du handicap lorsqu'il y en a un, est évaluée à 0,03 million de yuans.

Source : Calcul des auteurs d'après les données  
du BUREAU OF SHANGHAI CITY POLICE

Il semble qu'un accident spécifique du vélo électrique s'explique par une insuffisance technique dans la conception. Les freins ne sont pas assez puissants pour arrêter en toutes circonstances (descente, freinage d'urgence) les vélos équipés d'une batterie au plomb qui pèse plus de 20 kg. Les vélocistes confirment que ce problème est résolu pour les vélos équipés d'une batterie au lithium, dont le poids, moitié moindre, les rapproche de nombreux vélos classiques. Pour l'instant en Chine, seule une petite partie du parc

dispose de batteries au lithium (Cf. 6.1.), mais la situation évoluera vraisemblablement dans ce sens comme cela a été le cas en France.

DONG (2008) distingue quatre principaux types d'accidents de deux-roues électriques à Shanghai liés au comportement du conducteur : non-respect par les usagers de la signalisation, des limites de vitesse, circulation en sens interdit, circulation sur les chaussées réservées aux voitures.

En outre, les deux-roues électriques, le vélo électrique et particulièrement le scooter électrique, plus lourds que le vélo traditionnel et plus rapides que lui, posent des problèmes de cohabitation dans les voies cyclables. Plus lents par contre que les véhicules à motorisation thermique, en particulier la voiture, ils posent des problèmes de cohabitation dans les voiries classiques. En matière d'insécurité routière, le développement des deux-roues électriques a donc trois effets sur le système de transports.

- Dans les voies cyclables, les deux roues électriques augmentent les risques pour les cyclistes traditionnels.
- Jusqu'à la loi de janvier 2010, les usagers des scooters électriques n'avaient pas besoin d'un permis de conduire, d'où vraisemblablement un défaut de connaissances des règles du code de la route et, même lorsqu'ils circulent sur les voiries classiques, n'étaient pas tenus de porter un casque.
- Sur les voiries classiques, en cas de collision avec une automobile ou même une moto, ils sont très vulnérables du fait de la différence d'énergie cinétique et du manque de protection.

De ce fait, la ville de Shanghai ne fait pas encore officiellement la promotion des deux-roues électriques, préférant se laisser le temps de trouver des solutions à ces problèmes de sécurité.

## **6. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MODES**

Après avoir examiné les avantages que les différents modes offrent à l'individu en termes de coût et de vitesse, puis leurs inconvénients du point de vue de l'insécurité routière, nous allons dans ce paragraphe apprécier les différents modes selon les avantages qu'ils offrent à la société dans une perspective de mobilité urbaine durable. Nous allons pour cela nous intéresser à la consommation énergétique des modes et à leurs émissions polluantes.

### *6.1. LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT*

La consommation d'énergie liée à un mode comprend deux volets : l'un concerne la fabrication du véhicule et s'applique à tous les modes mécanisés, l'autre concerne l'énergie nécessaire à son usage et ne s'applique pas au vélo traditionnel. L'estimation de l'énergie consommée pour la fabrication des véhicules est délicate, mais elle est indispensable si l'on veut appréhender l'impact énergétique réel d'un mode. Pour obtenir le coût énergétique global



d'un mode mécanisé, on ajoute la consommation électrique nécessitée par la fabrication des pièces détachées du véhicule et son montage à la consommation énergétique pour l'usage de ce véhicule. On se ramène au voyageur.km en tenant compte de la durée moyenne de vie du véhicule (qui dépend de la distance moyenne parcourue annuellement) et de son taux moyen d'occupation.

Le bilan énergétique des modes dépend du type de moteur, électrique ou thermique. Pour comparer les modes, les consommations d'énergie sont ramenées à une même unité, le kWh par voyageur.km (Tableau 9) en faisant un rapport d'équivalence. On peut ensuite calculer un coût d'énergie en multipliant la consommation par le coût unitaire de l'énergie à Shanghai.

Tableau 9 : Bilan énergétique des différents modes à Shanghai

|  | Vélo<br>traditionnel <sup>a,b</sup> | Vélo<br>électrique <sup>a</sup> | Scooter<br>électrique <sup>a</sup> | Scooter<br>thermique <sup>c</sup> | Voiture <sup>d</sup> | Bus <sup>a</sup> |
|--|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------|
| Consommation d'énergie<br>en kWh par voyageur.100 km           | 1,8                                 | 5,7                             | 7,4                                | 32,0                              | 94,0                 | 17,5             |
| Coût de l'énergie<br>en yuans par voyageur.100 km <sup>e</sup> | 0,81                                | 2,57                            | 3,33                               | 14,20                             | 42,08                | 7,85             |
| Surconsommation par rapport au<br>vélo traditionnel            | Base 1                              | 3,2                             | 4,1                                | 17,5                              | 51,9                 | 9,7              |

a Moyenne des valeurs proposées par CHERRY (2007), y compris la consommation d'énergie pour la fabrication et l'usage ; la fabrication prend en compte l'exploitation minière, l'extraction de pétrole, le raffinage, ainsi que la fabrication proprement dite et l'assemblage des pièces composant le véhicule. Pour l'électricité du mode électrique, on a fait une moyenne en tenant compte du fait que quelques villes chinoises ont une électricité en provenance exclusive de centrales thermiques (charbon), alors que d'autres sont équipées de centrales hydroélectriques.

b On prend en compte la seule consommation d'énergie pour la fabrication, puisqu'il n'y a pas dans ce cas d'autre énergie d'usage que l'énergie humaine.

c D'après HU (2006).

d D'après SULLIVAN et al. (1998).

e Produit de la consommation par le coût unitaire (Cf. Tableau 5, note g).

Nous voyons sur le Tableau 9 que les consommations d'énergie du scooter thermique et de la voiture à Shanghai sont respectivement plus de 4 et plus de 12 fois supérieures à celle du scooter électrique, le bus consommant pour sa part plus du double par voyageur.km. Il y a donc dans le développement de l'usage des deux-roues électriques un réel potentiel de réduction de la consommation d'énergie, d'autant plus que, d'après CHERRY (2007), la fabrication d'un deux-roues électrique (véhicule et batterie) consomme trois fois plus d'énergie que son usage. Or des améliorations importantes sont possibles au niveau des procédures de fabrication, qui creuseront encore l'écart en faveur des modes électriques.

Les deux-roues électriques posent un problème environnemental lié à l'usage des batteries, dont la production, puis le recyclage en fin de vie sont source de pollution, notamment pour les batteries au plomb, pour l'instant les plus

répandues en Chine. En effet, 95 % des deux-roues électriques en sont équipés pour à peine 5 % de batteries au lithium (CHINESE BATTERY INDUSTRY, 2008). Or les batteries au lithium possèdent des qualités environnementales supérieures aux batteries au plomb (CHERRY, 2009 ; DONG, 2008 ; WEINERT, 2007) parce qu'elles pèsent trois à quatre fois moins et durent trois fois plus longtemps, tout en consommant 1,5 à 2 fois moins d'énergie au kilomètre. On ne peut que soutenir les développements technologiques qui permettraient la diffusion massive en Chine de ces batteries, plus respectueuses de l'environnement et susceptibles de faire baisser le coût énergétique d'usage des deux-roues électriques, deux facteurs propres à renforcer l'acceptabilité de ceux-ci. Nous avons également évoqué plus haut ce que la baisse du poids du vélo électrique représente comme amélioration pour l'efficacité des freins, donc pour le bilan accidentologique.

Le recyclage des batteries des deux-roues électriques est toutefois moins problématique que celui des batteries de la voiture électrique que tout le monde voudrait promouvoir aujourd'hui. La voiture à motorisation thermique elle-même a une batterie au plomb de quelques kilos, en plus de bien d'autres matériaux qui posent également des problèmes de fin de vie et de recyclage. Sur cet aspect, la balance penche en faveur des deux-roues électriques.

## 6.2. L'IMPACT DES MODES SUR L'ENVIRONNEMENT

Nous nous intéressons ici seulement à l'émission de CO<sub>2</sub>, gaz lié à l'effet de serre, et des autres polluants atmosphériques, à l'exclusion d'autres atteintes à l'environnement comme le bruit ou les effets de coupure. CHERRY et al. (2009) ont estimé les quantités de CO<sub>2</sub> et autres polluants atmosphériques par voyageur.km imputables à la production des véhicules et à leur usage à Shanghai (Tableau 10).

Tableau 10 : Impact des modes sur l'environnement à Shanghai

|   | Vélo   | Vélo électrique | Scooter électrique | Scooter thermique | Voiture | Bus  |
|---|--------|-----------------|--------------------|-------------------|---------|------|
| CO <sub>2</sub> en g par voyageur × km                          | 4,7    | 23,4            | 30,3               | 96,0              | 204,0   | 60,5 |
| Surémission de CO <sub>2</sub> par rapport au vélo traditionnel | Base 1 | 5,0             | 6,5                | 20,4              | 43,4    | 12,9 |
| CO, HC, NO <sub>x</sub> , PM en g par voyageur × km             | 0,07   | 0,28            | 0,36               | 11,57             | 9,39    | 0,67 |
| Surémission d'autres polluants par rapport au vélo traditionnel | Base 1 | 4,0             | 5,1                | 165,3             | 134,1   | 9,6  |

Source : Estimation des auteurs d'après des données de CHERRY et al. (2009)

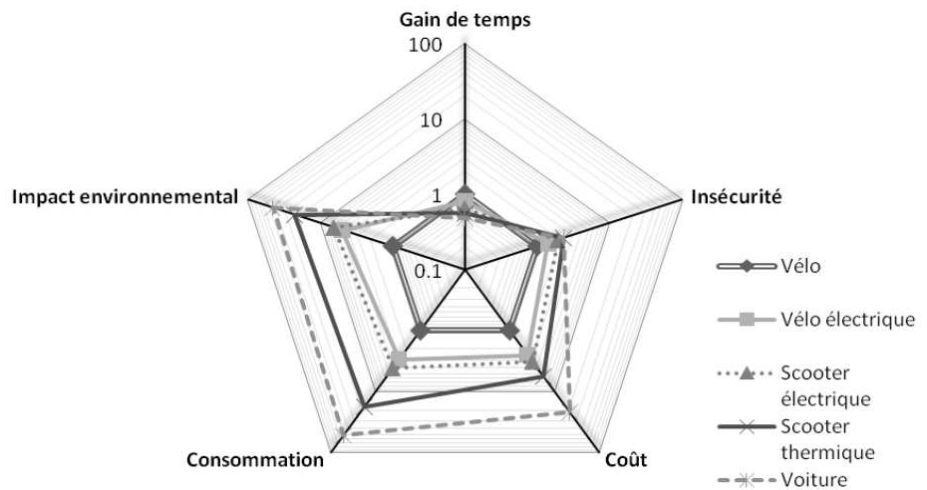
L'impact environnemental des deux-roues électriques est certes moins bon que celui du vélo classique, mais globalement 4 fois moins élevé que celui du scooter thermique, 9 fois moins que celui de la voiture et même 2 à 3 fois moins que celui du bus.

La part modale des deux-roues à motorisation thermique a fortement augmenté à Shanghai en un peu moins de deux décennies, tout particulièrement en banlieue (Cf. Tableau 4). Un transfert modal vers les scooters électriques de la moitié des scooters thermiques de la périphérie permettrait une réduction journalière de 656 t d'émissions, tous polluants atmosphériques confondus. WANG (2004) chiffre à 136 millions de tonnes le CO<sub>2</sub> émis à Shanghai durant l'année 2000 et estime à 200 millions de tonnes l'émission pour 2010. La réduction d'émission de CO<sub>2</sub> qui résulterait d'un tel transfert modal représente 0,13 % de ce total.

## 7. DIAGNOSTIC COMPARATIF

Les performances pour Shanghai des cinq modes mécanisés de transport individuel sont synthétisées en Figure 2, sur laquelle on a porté les écarts par rapport au vélo traditionnel des valeurs caractérisant les cinq critères que nous avons définis.

Figure 2 : Comparaison des modes de transport à Shanghai selon les cinq critères



Chiffres rapportés au voyageur.kilomètre, base 1 pour le vélo

Le vélo traditionnel est le plus performant sur tous les critères à l'exception de la vitesse. En termes de coût, consommation et pollution atmosphérique, le vélo électrique et le scooter électrique sont intermédiaires entre vélo classique et scooter thermique et diffèrent peu entre eux. Ceci s'explique par le fait que ces deux modes ont des caractéristiques très proches dans le cas de la Chine : le scooter électrique y est beaucoup moins puissant que les produits français ou européens, alors que le vélo électrique consomme lui-même un peu plus d'énergie que le VAE français ou européen. La voiture se différencie nettement des autres modes sur ces trois critères.

Le vélo électrique est légèrement plus rapide que le vélo classique, tandis le scooter électrique est quasiment aussi rapide que le scooter thermique et même la voiture.

En matière d'insécurité, le vélo électrique et le scooter électrique sont caractérisés par des taux d'accidents au kilomètre inférieurs à ceux du scooter thermique et de la voiture. Toutefois vu le contexte, leur bilan accidentologique n'est pas encore satisfaisant, ce qui nuit à l'acceptabilité du mode, tant du point de vue individuel que collectif. Ce problème devra faire l'objet d'une grande attention de la part des services publics, au risque sinon de compromettre les possibilités d'un véritable transfert modal vers les deux-roues électriques. Nous donnons dans la suite de l'article quelques pistes d'amélioration.

En conclusion, tant du point de vue des usagers que du point de vue de l'intérêt collectif, les deux-roues électriques présentent un bilan globalement positif et leur diffusion peut être envisagée, en particulier à Shanghai.

## **8. QUEL POTENTIEL DE SUBSTITUTION PAR DES DEUX-ROUES ÉLECTRIQUES ?**

Face au défi d'une mobilité urbaine qui tend à se réaliser majoritairement par les modes motorisés individuels, le transport public ne suffisant pas à répondre partout aux besoins de mobilité de la population chinoise, la montée en puissance des deux-roues électriques pourrait être une solution pour satisfaire une demande croissante en matière de déplacements quotidiens, à la fois en nombre et en distances parcourues, tout en contenant la dépendance aux véhicules à motorisation thermique, responsables entre autres de nuisances environnementales.

La substitution d'un deux-roues électrique, vélo ou scooter, à la marche et au vélo traditionnel ou, à l'inverse, au deux-roues thermique semble pouvoir concerner un grand nombre d'usagers à Shanghai comme dans d'autres villes chinoises. Le cycliste traditionnel sera sensible aux arguments de vitesse, de distance permise et de confort. Dans un contexte de croissance économique, un vélo électrique, voire un scooter, lui deviendra d'autant plus accessible que les opérateurs du marché des deux-roues électriques procèdent à des opérations de marketing. En outre, le vélo électrique, qui est un mode individuel assez proche, pourrait être plus apprécié que le transport collectif par les usagers du vélo traditionnel. Pour sa part, l'utilisateur d'un scooter thermique pourrait être intéressé par les économies permises par le mode électrique. L'association des cyclistes chinois a conduit une enquête par questionnaire visant à connaître les pratiques modales des voyageurs (CHINA BICYCLE, 2007). Il en ressort que, dès l'instant qu'un usager a l'occasion d'expérimenter un deux-roues électrique, il en apprécie le confort et la vitesse, ainsi que le caractère pratique et beaucoup plus économique que le deux-roues thermique et l'adopte comme mode de transport.

Le potentiel de transfert modal de la voiture vers les deux-roues électriques semble faible dans le contexte actuel, mais il n'est pas exclu que certains automobilistes puissent être un jour tentés d'utiliser un deux-roues électrique, éventuellement pour certaines destinations et certains motifs dans le cadre d'une motorisation diversifiée et d'un comportement multimodal.

Compte tenu des atouts des deux-roues électriques dans une perspective de transport urbain durable, une réflexion des pouvoirs publics sur le statut de ces modes et la place qu'il convient de leur réserver dans la mobilité semble nécessaire. S'ils veulent assurer la réussite du transfert modal vers ces modes, ils devraient mener des actions de communication et de promotion, voire de restriction des modes à motorisation thermique. Avant tout, une réflexion sérieuse sur l'amélioration de la sécurité des deux-roues électriques devrait être menée pour accroître l'acceptabilité du mode par les individus et la collectivité.

En effet, le développement explosif du deux-roues électrique dans un grand nombre de villes chinoises, observable dans les statistiques municipales, par exemple à Shanghai dans *The Statistics Yearbook* et les données de l'enquête locale de transport, a été initialement déterminé par l'offre abondante de ces véhicules, accessibles au plus grand nombre grâce à des prix en baisse et une augmentation assez générale du pouvoir d'achat. L'irruption quelque peu anarchique de ce nouveau mode n'a pas été encore réellement prise en compte sur le plan réglementaire, ni organisée de manière à assurer une cohabitation sécuritaire avec les autres modes de transport.

Sur fond de sécurité insuffisamment maîtrisée, on observe en Chine trois positions complètement différentes selon les municipalités. La ville de Guangzhou par exemple a interdit l'usage des deux-roues électriques, la ville de Shanghai est plutôt favorable au développement du deux-roues électrique et la ville de Pékin, après avoir interdit les deux-roues électriques entre 2002 et 2005, est revenue sur sa position en 2006, sans que cette acceptation soit encore inconditionnelle.

Les pouvoirs publics doivent également mener une réflexion sur la nature même du nouveau véhicule qu'est le vélo électrique. Le choix actuellement fait en Chine de le classer parmi les modes non motorisés, lui imposant de fait la même limitation de vitesse à 15 km/h qu'au vélo traditionnel, est un frein à l'attractivité du vélo électrique, mode choisi principalement pour sa capacité à être plus rapide que ce dernier. Cette limite pourrait être relevée jusqu'à 20 ou 25 km/h pour tous les vélos ou à défaut non appliquée au vélo électrique.

## **9. PROPOSITIONS D'AMÉLIORATIONS**

De nouvelles technologies appliquées aux batteries, comme l'utilisation du

lithium au lieu du plomb, se répandent aujourd'hui rapidement en Chine, promettant donc un début de solution au problème de l'utilisation d'un matériau réputé toxique, responsable par ailleurs d'un alourdissement du vélo préjudiciable à la sécurité.

À moyen et long termes, les batteries au lithium représentent une économie pour l'utilisateur, puisque le coût kilométrique est plus faible qu'avec des batteries au plomb (Cf. 6.1). Il n'en reste pas moins que le prix d'achat d'un vélo équipé de batteries au lithium (coût initial) est plus élevé. De ce fait, il se vend encore de nombreux deux-roues électriques équipés de batteries au plomb. Pour les fabricants, les batteries au lithium seraient également très avantageuses puisque les coûts de recyclage sont fortement réduits.

Les pouvoirs publics, conscients des problèmes environnementaux liés à l'utilisation du plomb, pourraient impulser une politique d'échange des batteries en subventionnant l'achat d'une batterie neuve au lithium par les particuliers.

L'insécurité routière liée à l'usage du vélo électrique, hors problème du poids, et du scooter électrique est plus complexe et nécessite une solution multiforme.

Une première mesure consisterait à imposer un contrôle à tout nouveau vélo électrique pour vérifier que les équipements de sécurité sont bien conformes et limiter ainsi les risques au niveau même du véhicule.

Nous proposons également de considérer séparément le vélo électrique et le scooter électrique, certes tout deux munis de batteries, mais très différents en termes de vitesses et d'accidentologies. Si le vélo électrique reste encore proche du vélo traditionnel, les caractéristiques du scooter électrique le rapprochent plutôt des modes à motorisation thermique. Si les seuls vélos électriques étaient autorisés à cohabiter avec les vélos sur les aménagements cyclables, on éliminerait une cause d'accidents.

Pour réduire le risque d'accidents, il est essentiel d'infléchir le comportement des usagers. Le renforcement du contrôle des règles du code de la route est une façon d'y parvenir. Quelques points nous semblent décisifs.

Il faut rappeler clairement les limitations de vitesse applicables à chaque catégorie de véhicules et les faire strictement respecter. Ces limitations seront d'autant mieux respectées que la réglementation aura pris en compte l'évolution actuelle en matière de deux-roues. Le relèvement modéré de la vitesse limite que nous préconisons pour les véhicules non motorisés ne devrait pas augmenter les conflits entre vélos traditionnels et vélos électriques sur les voiries qu'ils empruntent en commun.

Pour les usagers des scooters électriques, il est nécessaire de rappeler quelques règles supplémentaires, comme l'obligation nouvelle du port d'un

casque et d'un gilet réfléchissant.

Des mesures pour empêcher le stationnement sauvage des deux-roues électriques éviteraient de nombreux conflits avec les piétons, obligés à se mettre en danger du fait de trottoirs et carrefours encombrés.

Un contrôle strict du respect de la signalisation routière, panneaux et feux, s'impose également à tous, deux-roues électriques compris.

Enfin, on s'efforcera de faire comprendre les enjeux de sécurité routière et la nécessité de respecter la réglementation en favorisant l'éducation à la sécurité routière.

## 10. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans une perspective de développement durable, les véhicules électriques participent incontestablement aujourd'hui en Chine aux efforts des pouvoirs publics pour réduire les pollutions atmosphériques et la dépendance au pétrole induites par la motorisation thermique. Les conditions historiques et économiques ont déterminé, pour les déplacements urbains en particulier, des répartitions modales très différentes de celles que connaissent les villes occidentales. C'est pourquoi le développement du deux-roues électrique revêt une telle importance en Chine, alors qu'il n'en est qu'aux balbutiements en France, où l'on parle, à l'inverse, bien plus de la voiture électrique. Toutefois, on peut se demander à quelles conditions les deux-roues électriques, performants dans les villes, pourraient avoir à l'échelle du pays un effet significatif sur la croissance maintenant très rapide du parc automobile chinois.

Malgré son importance déjà considérable, le mode électrique est apparu depuis peu en Chine. Les enquêtes de mobilité récentes l'ont pris en compte de façon imparfaite et lacunaire. Il est difficile de prendre la mesure exacte de son évolution, puisqu'il n'existait même pas lors des enquêtes précédentes. Nous plaçons pour la production, dans un proche avenir, puis à intervalles réguliers, de données détaillées et nombreuses, tant au sujet des nouvelles pratiques de mobilité que des accidents impliquant des deux-roues électriques et des circonstances de leur survenue.

Le développement du vélo électrique et du scooter électrique est un grand enjeu pour la ville de Shanghai. En plus d'éviter un passage important de la marche et du vélo traditionnel au deux-roues à motorisation thermique, on peut espérer un abandon de ce dernier par une partie de ses usagers, au profit du scooter électrique, dont les performances en termes de vitesse sont également satisfaisantes, mais qui a l'avantage d'être nettement moins coûteux. Il n'en va pas de même pour la voiture, dont les caractéristiques diffèrent du deux-roues, tant pour les conditions d'usage (accompagnement, etc.) que de confort et d'image (affichage d'un statut social supérieur), et

dont les usagers sont plus riches que la moyenne. Ceci pourrait cependant changer en partie, si les embouteillages par exemple devenaient insupportables, s'il devenait trop difficile de se garer au domicile ou sur le lieu du travail du fait d'une saturation de l'espace, voire impossible du fait de restrictions réglementaires contraignantes qui pourraient être décidées.

Si l'on veut assurer le succès du report modal sur les deux-roues électriques, on ne saurait en effet s'appuyer seulement sur les qualités objectives de ce mode. Il faut tout à la fois rééquilibrer le système de déplacement en faveur de celui-ci et intervenir sur l'espace public. Les modes à motorisation thermique, présentant une efficacité temporelle élevée, peuvent en effet avoir pour conséquence d'accélérer la séparation spatiale des fonctions urbaines et d'étendre les zones urbanisées, alors qu'il s'agirait de favoriser plutôt la ville compacte et une moindre consommation d'espace-temps de circulation.

Le relèvement de la vitesse réglementaire autorisée aux modes non motorisés entérinera la reconnaissance des nouvelles potentialités des vélos électriques en matière de vitesses. Parmi les autres mesures directement favorables aux deux-roues électriques, on pourrait trouver un marketing institutionnel en leur faveur, un meilleur réseau d'aménagements cyclables pour vélos traditionnels et électriques, etc. D'autres appuis pourraient être recherchés du côté des entreprises, publiques comme privées, où les employés seraient encouragés par toutes sortes d'incitations -par exemple un complément de salaire tel que cela se pratique en faveur des cyclistes dans plusieurs pays européens, le prêt ou la location à bas prix d'un vélo électrique- à utiliser les modes les plus respectueux de l'environnement, deux-roues électriques compris, en particulier pour effectuer leurs déplacements domicile-travail.

Parallèlement, certaines mesures de restriction de la voiture pourraient être envisagées par les pouvoirs publics. Le programme de quotas des plaques d'immatriculation mises aux enchères à Shanghai à partir de l'année 2000 visait déjà à limiter l'augmentation du parc automobile. La motorisation thermique pourrait en outre faire l'objet d'une limitation dans les zones les plus denses, où seront en revanche autorisés les modes électriques en sus des modes non motorisés traditionnels et du transport collectif<sup>6</sup>. Un soutien particulier pourrait être apporté aux deux-roues électriques en périphérie, compte tenu de la part modale que les deux-roues à motorisation thermique y ont déjà atteinte et du fait que le transport collectif restera moins performant dans cette zone peu dense.

Dans la ville centre, où le transport collectif est bien développé et où l'amélioration du réseau se poursuit tant en termes de maillage que de cadences, on pourrait imaginer toute une série d'opportunités complémentaires, en s'inspirant en particulier d'exemples étrangers. L'intermodalité entre vélo

---

<sup>6</sup> La ville de Parme en Italie par exemple, où le centre est interdit aux motos et aux voitures, a connu un développement du vélo électrique.



traditionnel ou deux-roues électrique et transport public mériterait d'être encouragée pour les déplacements entre zones. Si l'on en croit l'exemple de Tokyo, où, comme à Shanghai, le vélo traditionnel est fortement utilisé au sein des différents quartiers et où des parkings de rabattement sur les stations accueillent des milliers de vélos, le potentiel de l'intermodalité pourrait être très élevé à Shanghai aussi. À l'instar de nombreuses villes européennes, Shanghai pourrait également se doter d'un système de vls (vélo en libre service), qui proposerait des vélos électriques en sus de vélos traditionnels, une façon aussi de faire apprécier les potentialités de ce mode en vue de son adoption par de nouveaux adeptes.

Si la diffusion du deux-roues électrique se poursuit à Shanghai, grâce à l'engagement de la municipalité dans une politique de transport ambitieuse et cohérente, accompagnée par une réflexion sur l'urbanisation, il sera essentiel d'appréhender les retombées des mesures prises grâce à des comptages réguliers et des enquêtes périodiques.

## 10. BIBLIOGRAPHIE

ASIAN DEVELOPMENT BANK (2009) **Electric Bikes in the People's Republic of China: Impact on the Environment and Prospects for Growth**. 94 p.

BOITEUX M., BAUMSTARK L. (2001) **Transports : choix des investissements et coût des nuisances**. Commissariat Général du Plan, 325 p.

BUREAU OF SHANGHAI CITY POLICE (2006) **Les statistiques des accidents routiers à Shanghai en 2005**. <http://www.police.sh.cn/shga/gweb/>

CHEN X., XIONG W., HUANG Z. (2006) Planning Bicycle Corridor for Shanghai Central City. **Transportation Research Board Annual Meeting 2007**, n° 07-1156, 14 p.

CHERRY C.R. (2007) **Electric Two Wheelers in China: Analysis of Environmental, Safety, and Mobility Impacts**. Berkeley, University of California, PhD dissertation, 185 p.

CHERRY C.R., WEINERT J.X., YANG X. (2009) Comparative environmental impacts of electric bikes in China. **Transportation Research Part D**, Vol. 14, pp. 281-290.

CHINA BICYCLE (2007) Magazine mensuel, China bicycle association.

DEVELOPMENT RESEARCH CENTER OF THE STATE COUNCIL (2009) **Annual Report on Automotive Industry in China 2009, Blue Book of Automotive Industry**.

DONG B.J. (2008) **The study of characteristics of electric bicycle**. Tongji University, Master thesis, 90 p.

EDF (2006) Le vélo électrique. **La lettre électronique du réseau**, n° 22, <http://transports.edf.fr>.

LIU G. (2007) A behavioral model of work-trip mode choice in Shanghai. **China Economic Review**, Vol. 18, n° 4, pp. 456-476.

PAPON F. (2002) La marche et le vélo : Quels bilans économiques pour l'individu et la collectivité ? Première partie : le temps et l'argent. **Revue Transports**, n° 42, pp. 84-94.

REYNAUD N. (2008) Vélo électrique : la guerre des prix a commencé. **Ville & Transports**, n° 443, pp. 26-33.

SCCTPI (2005) **The third comprehensive transportation survey in Shanghai city – Summary report**. 21p., <http://www.scctpi.gov.cn/>

SHANGHAI CITY GOVERNMENT (2004) **Shanghai Statistical Yearbook**. <http://www.stats-sh.gov.cn/>

UNITED NATIONS (2004) **World Urbanization Prospects: The 2003 Revision**. Department of Economic and Social Affairs - Population Division, 32 p.

WANG B. (2004) Local air pollutant and CO2 emissions scenarios under low carbon development: Shanghai case study. **Energy Research and Information**, Vol. 20, n° 3, pp.137-145.

WEINERT J.X., BURKE A.F., WEI X. (2007) Lead-acid and lithium-ion batteries for the Chinese electric bike market and implications on future technology advancement. **Journal of Power Sources**, Vol. 172, n° 2, pp. 938-945.

WEINERT J.X., OGDEN J., SPERLING D., BURKE A. (2008) The future of electric two-wheelers and electric vehicles in China. **Energy Policy**, Vol. 36, pp. 2544-2555.

YEH C.-F., PAPON F. (2008) Le développement durable du transport urbain à Shanghai : Quelle place pour le vélo ? **Revue Transports**, n° 448, pp. 92-105.

YEH C.-F. (2009) **Intermodalité et coûts des déplacements urbains dans les mégapoles-Les cas de Paris, Shanghai et Taipei**. Université Paris-Est, Thèse de doctorat, 500 p.

ZAHAVI Y., TALVITIE A. (1980) Regularities in travel time and money expenditures. **Transportation Research Record**, n° 750, pp. 13-19.