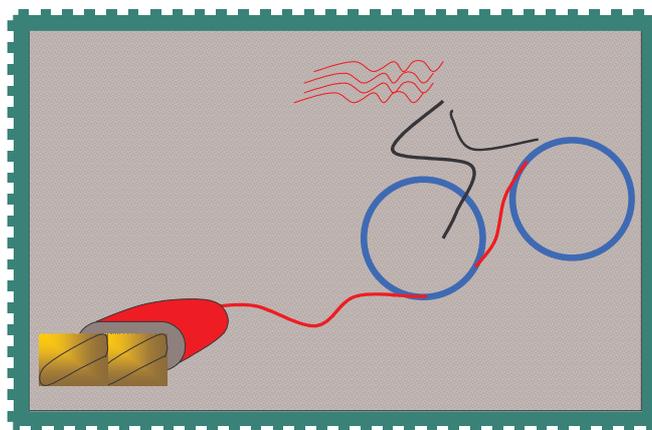


Le Vélo Electrique

Etat de l'art en 2006



Un vélo ?

*C'est une voiture en moins,
Santé en plus !*

C'est dans l'esprit du développement durable que s'inscrit cet état de l'art : il s'agit de bouger moins pour bouger mieux. Celui qui se déplace en vélo fait plus attention aux distances. Il fait aussi plus attention à son paysage et aux gens qui l'animent, c'est un état d'esprit.

Et puis, en vélo, c'est tellement plus facile de dire bonjour !

Promouvoir le vélo électrique, c'est aussi promouvoir le vélo, car un vélo électrique c'est d'abord un vélo. Un vrai vélo, avec un petit moteur, certes, mais un vrai vélo, au sens juridique, comme au sens musculaire.

Rappelons que plus de la moitié des déplacements automobiles concernent des trajets inférieurs à 5km (avec une vitesse moyenne de 13km/h)¹.

Arriver en sueur sur un vélo classique, ne pas se sentir la force de grimper la côte de 200m qui mène à la maison, pester contre le mistral, avoir quelque bagage,.... Autant de raisons qui retiennent l'usage du vélo classique. Alors, pourquoi pas un vélo électrique ?

Le présent dossier est le résultat d'une veille technologique dans tous les domaines relatifs au vélo électrique, arrêtée en juin 2006 et présentée en dehors de toute promotion de l'une ou l'autre marque de fabrication ou de distribution.



¹ Etude INRETS de 1999

Sommaire

QU'EST-CE QU'UN VELO ELECTRIQUE ?	4
LA REGLEMENTATION FACE AUX BESOINS	5
DES VELOS ELECTRIQUES ? OU ?.....	5
PARLONS D'ABORD D'ENERGIE.....	6
LE VELO ELECTRIQUE CONCRETEMENT	8
LE MARCHÉ	9
ETAT DE L'ART	11
PARTIE CYCLE	11
<i>Maintenance</i>	11
<i>Types</i>	11
<i>Cadre</i>	11
<i>Dérailleur</i>	12
<i>Eclairage</i>	12
<i>Freinage</i>	12
<i>Roues</i>	12
MOTORISATIONS	13
STOCKAGES D'ENERGIE	14
DISPOSITIFS DE COMMANDE	16
ACCESSOIRES	16
<i>Vêtements</i>	16
ARGUMENTAIRE	17
UTILISATIONS.....	17
EVOLUTIONS	18
ETAT DU MARCHÉ MONDIAL.....	18
PHOTOTHEQUE	18
EXPERIMENTATIONS FRANÇAISES ET EUROPEENNES.....	19
B- Enquête auprès de possesseurs de vélo électriques.....	21
Comparaison d'usage entre vélo et vélo électrique	21
Usage avant d'avoir un vélo électrique.....	21
Performances	21
Inconvénients	22
Politique gouvernementale envisageable	22
Utilisateurs	22
Trajets.....	22
Discussion	23
ANNEXE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
LES INSTITUTIONS ET LE VEHICULE ELECTRIQUE.....	24

Qu'est-ce qu'un vélo électrique ?

Pour simplifier, on l'appelle un vélo électrique, mais en fait, il s'agit d'un vélo avec assistance électrique au pédalage (VAE), car le règlement est formel : un vélo où il n'y a pas besoin de pédaler pour avancer est un vélomoteur et, dans ce cas, l'assurance 2-roues et le casque sont obligatoires, le véhicule doit être immatriculé et le conducteur doit avoir un brevet de sécurité routière.

La réglementation européenne admet qu'un VAE fasse partie de la catégorie "Vélo", sous réserve "*d'une puissance nominale continue maximale de 0,25kW dont l'alimentation est réduite progressivement et finalement interrompue lorsque le véhicule atteint une vitesse de 25 km/h, ou plutôt, si le cycliste arrête de pédaler*". http://europa.eu.int/eur-lex/en/archive/2002/1_12420020509en.html

Si le vélo électrique est homologué " Vélo", l'assurance familiale ou multigarantie qui permet l'usage d'un vélo suffit et le casque n'est pas obligatoire².

Pour avoir une idée concrète de la puissance maximale autorisée, on peut se référer aux équipements ménagers. Par exemple, la puissance des moteurs de batteur à œufs est donné entre 175 et 300 Watts. Concernant la vitesse, 25km/h représentent la vitesse qu'un cycliste peut atteindre sans pédaler dans une descente à 3% (la résistance de l'air équilibrant l'énergie potentielle). Sur une pente moyennement forte (7%) le cycliste atteindra 50 km/h s'il ne pédale ni ne freine.



² Voir <http://fubicy.org/securete-routiere/casque/>

La réglementation³ face aux besoins

Dans les faits, le VAE est vraiment un vélo. Lorsque le moteur est coupé, c'est un vélo, lesté de quelques kilogs sans doute, mais où l'on peut pédaler comme sur un vélo ordinaire. Lorsque le moteur est en assistance, il diminue sensiblement l'effort du cycliste.

Le fait de couper l'assistance au-delà de 25 km/h est dicté par un souci de sécurité. Le seuil de 25 km/h a sans doute été choisi relativement à la pratique du vélo classique où seuls les cyclistes entraînés peuvent réellement rouler plus vite sans fatigue. Cependant, sur des trajets domicile-travail un peu longs avec de grandes parties plates, il est dommage de voir l'aide diminuer dès 20km/h et de ne pas profiter de la pleine assistance, *sachant qu'il est plus sécurisant de s'intégrer à la circulation urbaine en roulant à 20-25 km/h que plus lentement (et principalement dans les montées ou au démarrage du feu vert), où la différence de vitesse entre voitures et cyclistes accentue le danger.*

La limitation de puissance à 250 Watts peut apparaître un peu abusive, en considérant le poids du vélo, de l'assistance électrique, du cycliste et de ses bagages. En tous cas cette limitation suffirait à elle seule à satisfaire la première condition (le pédalage obligatoire) car on imagine bien qu'un moteur de batteur à œufs ne peut pas vraiment faire tout le travail dans une montée ou face au vent.

Des vélos électriques ? Où ?

Culturellement, le vélo électrique est très ignoré au pays du Tour de France et des grands fabricants de voitures. Le vrai cycliste méprisera cette aide, mais tous les autres peuvent être intéressés par cette assistance "qui transforme les montagnes en collines et qui fait d'un méchant vent de face une brise rafraîchissante" !

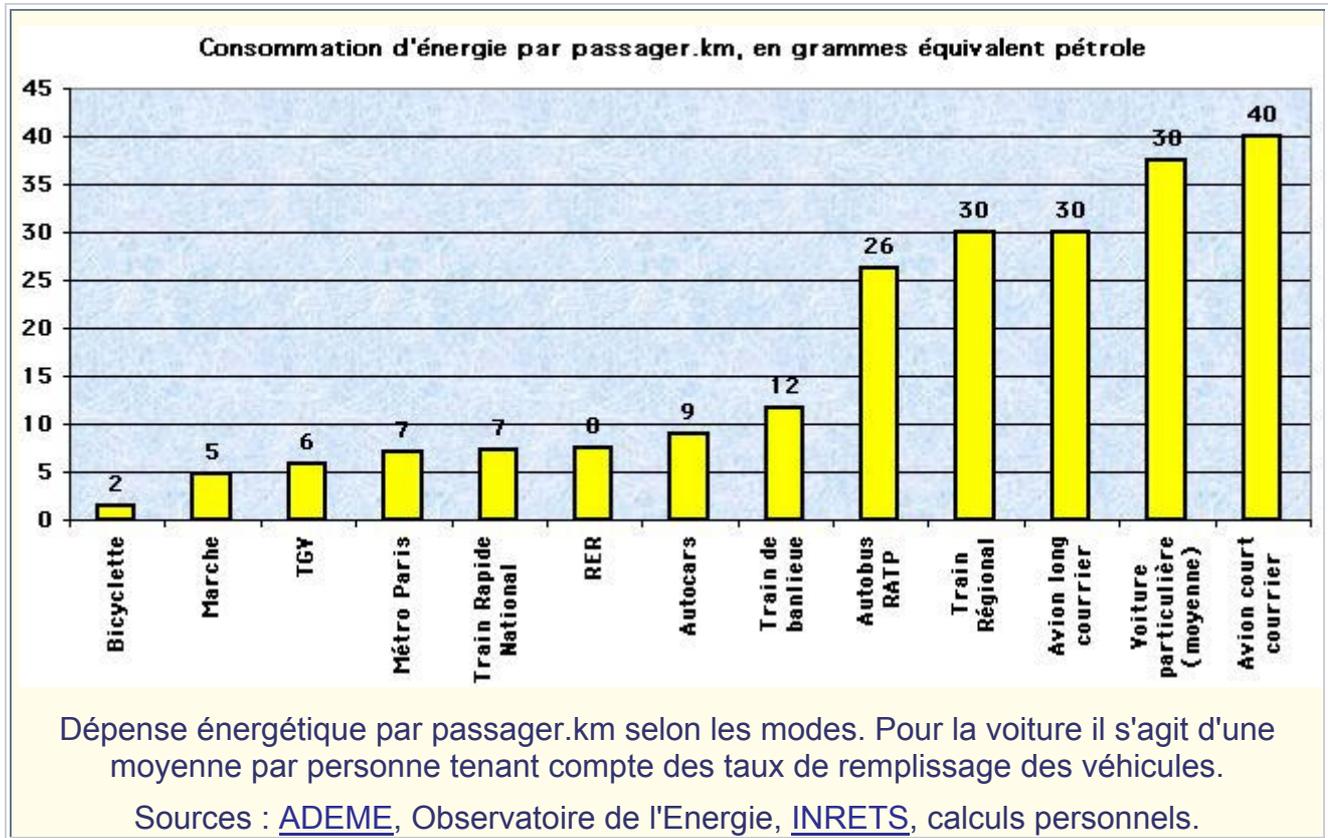
Ailleurs dans le monde, le vélo électrique a fait sa percée. Au Japon, déjà en 1998, il s'en vendait 200 000 par an, alors que la Chine fabriquait 50 000 moteurs-roue par mois. Aujourd'hui, les VAE sont courants en Californie comme en Suisse et les fabricants ne se comptent plus. Le foisonnement est multiple, depuis des milliers de bricolages dans un garage ou à 4 ou 5 exemplaires, jusqu'aux plus grande institutions publiques ou privées. Des vélos électriques de prestige ont été faits par Mercedes, Peugeot, Renault. En dehors de ces produits de prestige, la France reste curieusement à l'écart.



³ <http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=EQUS0300697A> : JO du 31 mai 2003 : des cycles à pédalage assisté, équipés d'un moteur auxiliaire électrique d'une puissance nominale continue maximale de 0,25 kilowatt dont l'alimentation est réduite progressivement et finalement interrompue lorsque le véhicule atteint une vitesse de 25 km/h, ou plus tôt, si le cycliste arrête de pédaler, ni à leurs composants ou entités techniques, dans la mesure où ils ne sont pas destinés à être montés sur les véhicules couverts par le présent arrêté

Parlons d'abord d'énergie.

Le graphe ci-dessous est issu de www.manicore.com



On peut voir qu'un cycliste consomme fois 5 fois moins que le passager d'un bus transportant 26 personnes et 100 fois plus que ceux qui sont à deux dans une voiture.⁴

Comparée à l'énergie dépensée par le piéton, la consommation est à peu près la même lorsque le cycliste est à 15 km/h.

Pour les cyclistes, la dépense énergétique augmente fortement avec la vitesse et dépend aussi du type de vélo, du poids et du volume du cycliste et de ses bagages, du type de pneu, de la position sur le vélo. Il est bon d'ajouter que le type de vêtement intervient et que le vent de face peut avoir un terrible effet. La position du cycliste et la position de la selle par rapport au pédalier ont de l'importance. Sur les longs trajets, il faudra compter avec la fatigue.

⁴ Que la voiture (ou le bus) soit à moteur électrique, à moteur thermique ou mixte ne change rien au volume de pétrole fossile qu'elle consomme, qui est à peu près le même, si l'on considère le rendement de la chaîne [pétrole-centrale-lignes électriques-chargeur-moteur] et celui de la chaîne [pétrole-transport-distributeur-moteur] qui, tous deux sont équivalents (30% au maximum).

Le site <http://www.kreuzotter.de/english/espeed.htm> est intéressant, car il permet de quantifier les effets des différents paramètres qui influent sur la puissance (Watts) et sur l'énergie consommée (Watt-Heure). Quelques exemples :

- *Un homme de 1m72 pesant 72kg sur un **vélo classique**⁵ de 18kg avec des pneus ballons devra dépenser 110 kcalories en déployant une puissance de **56W** pour faire 10km sur terrain plat à **15km/h**, sans vent, soit une énergie totale de 37 Wh. La puissance mise en jeu est à peu près celle d'une marche tranquille (5km/h).*
- *Le même homme sur un **vélo de course**, avec les mains en bas du guidon, ne dépensera que 80 kcalories avec une puissance de **35W** à 15 km/h.*
- *Le même homme sur un **vélo classique** devra dépenser 175 kcal avec une puissance de **100W** pour faire ce trajet à **20km/h**. Sans assistance au pédalage, il sera certainement en sueur, comme dans tout effort continu de plus de 50W.⁶*
- *Sur un **vélo électrique** de 30kg, le cycliste et son petit moteur devront déployer chacun (le cycliste et le moteur) une puissance de **55 W** rouler à la même vitesse.*

Hélas, la terre n'est pas plate et l'on passe beaucoup plus de temps dans les montées que dans les descentes. Avec 110W musculaire, le cycliste n'ira pas plus vite que 7,5 km/h dans une simple **rampe à 5%**. Pour faire bonne figure à 15 km/h, il faudra engager 230W. Si le moteur en fournit 150W, la colline semblera presque plate !

Autant les coureurs du Tour de France peuvent produire 500W pendant une heure, autant un cycliste non entraîné ne pourra fournir que 200W pendant quelques minutes, au bout desquelles il sera vite suant et soufflant. Cet effort physique, auquel personne ne rechignait en 1950 en France, apparaît comme un prétexte (que l'on a du mal à avouer) pour ne pas prendre son vélo. Le froid, le vent, la pluie, le vol sont des motifs avouables mais surmontables. Le mollet mou l'est beaucoup moins.⁷



⁵ Le Cx de ce cycliste peut être estimé à 1,2, avec une surface de 0.5m², soit une surface équivalente de 0,6m²

⁶ Le meilleur est le vélomobile, où le cycliste pédale à moitié couché à l'intérieur d'un carénage. Avec 100W, il ira à 34 km/h (27km/h avec un vélo de course)
<http://users.pandora.be/fietser/filmpjes/VM4SD-FVDW.pdf> (21Mo)

⁷ Toutes énergies confondues, un français consomme environ 45000 kWh par an. Une heure de vélo domicile-travail chaque jour lui fera dépenser 200Whx200jours= 40kWh par an. En voiture, pour le même trajet, il dépense 20kWh, soit 4000kWh par an : Gain de consommation globale dû à l'usage du vélo : 10%

Au guidon, un interrupteur permet d'enclencher l'assistance, mais il vous faudra pédaler pour qu'elle soit effective. Cette assistance est modulable selon les modèles.

Le vélo électrique n'a pas un comportement de mobylette. L'assistance électrique est perceptible à faible allure, mais celui qui chevauche son vélo comme un vélo de course, à grands et forts coups de pédale, n'aura pas l'impression qu'on le pousse dans le dos.

Chez certains fabricants, un capteur analyse la pression sur la manivelle du pédalier. Le régulateur fournit une énergie équivalente sur le moteur. Le cycliste n'a pas d'action volontaire. Il peut simplement se rendre compte que le pédalage est plus facile. Dans les côtes, il lui faudra fournir un effort plus soutenu, au point que dans les rampes un peu fortes il doutera de son assistance, même si celle-ci est effective.

Chez d'autres fabricants, l'interrupteur au guidon a deux ou trois positions : économique, médiane ou maximale. Le cycliste peut doser l'assistance. Ce n'est qu'avec l'habitude qu'il arrivera à faire la différence entre les différents régimes. En fait ce dosage est surtout là pour traiter une trop faible autonomie.

Chez d'autres encore, il s'agit d'un galet rouleur que l'on enclenche comme on peut le faire sur les Velosolex (qui ne sont pas des vélos électriques et qui sont classés comme des vélomoteurs – Voir Gaston Lagaffe et son casque intégral chevauchant son crache-fumée noire).

Quelque part sur le vélo, une batterie, souvent au plomb, plus rarement au cadmium-nickel, récemment au lithium, dans une logement rigide sous la selle, dans une sacoche pendue au milieu du cadre, sur le porte bagage. En principe, elle est amovible, de façon à pouvoir l'emporter chez soi pour la recharge. Les logements rigides ferment à clef. La batterie est en général pourvue d'un voyant de charge et de capacité restante dont l'indication est très approximative.

Le moteur et l'entraînement de la roue sont multiformes :

- moteur dans le pédalier, ou extérieur avec entraînement du pédalier.
- moteur assujetti au cadre, avec un entraînement par chaîne de la roue arrière
- moteur entraînant un galet pressé sur le pneu avant ou arrière
- moteur dans le moyeu de la roue avant ou arrière. Ces moteurs-roues sont des fabrications standardisées qui remplacent les roues habituelles.

Chez certains fabricants, le moteur peut fonctionner en une génératrice qui assure le freinage en même temps que la recharge de la batterie. Cependant, l'expérience montre que cette fonction n'est vraiment utile que dans les fortes descentes. A moins de 5%, il est particulièrement frustrant d'avoir à pédaler pour maintenir une vitesse normale. De plus l'énergie ainsi récupérée sera infime avec un rendement d'environ 20%.

Tous ces éléments sont intégrés soit au niveau de la conception et la partie cycle se fabrique pour intégrer mécaniquement l'assistance, soit sous forme de kits qui peuvent s'adapter facilement à presque tous les types de vélos du marché.



Le marché

Rappelons (Vélocité n°73) qu'il y a environ 20 millions de bicyclette en France, qu'il s'en vend environ 2 millions chaque année et qu'il y aurait 5 millions de vélos susceptibles d'être utilisés en ville, alors que la moitié des vélos sont achetés pour la promenade. Cela laisse augurer de la part que pourraient se tailler les assistances au pédalage.

Le marché offre plusieurs types de produits, essentiellement dans le créneau du vélo urbain⁸, avec quelques produits s'affichant comme polyvalents :

- les vélos électriques conçus spécifiquement en tant que vélos électriques. Ces vélos peuvent être d'un dessin très futuriste ou au contraire ressembler à des vélos traditionnels, en général sans barre de cadre avec une position assise très verticale. Leur poids varie entre 25 et 25 kg. Le marché visé est essentiellement urbain.
- les vélos classiques électrifiés chez le fabricant, avec quelques adaptations mécaniques mineures. Ce sont des vélos urbains ou des vélos de tourisme
- les vélos pliables, à ne pas confondre avec les trottinettes électriques, qui sont hors sujet. Ces vélos pliables peuvent prendre place dans un coffre de voiture (ou de bateau) ou en bagage dans les transports en commun (ou dans les escaliers). Ces vélos ont une partie cycle relativement performante. Leurs petites roues ne sont pas synonyme d'un rendement déplorable.
- les kits (moteur, batterie, commande/capteurs, câblage) à monter soi-même, **qui ont l'immense avantage de laisser au cycliste le choix de son vélo** : Tout-terrain, tout-chemin, de ville, de route, de cyclotourisme, de demi-course, pliable, tandem, tricycle, triporteur...
- les tricycles ou triporteurs, le vélo du facteur,...

Mention spéciale pour les vélos couchés, où la position du cycliste améliore l'aérodynamisme, à qui certains ajoutent un moteur électrique, voire même un carénage servant de support à des panneaux solaires. Au maximum, le soleil aidera de 100W par m², sans doute insuffisant en croisière, mais suffisant pour une recharge à l'arrêt.

Le principal obstacle à la diffusion du VAE en France est son prix : 700 à 4400 euros⁹, alors que l'on voit dans les supermarchés des trottinettes électriques à moins de 100 euros¹⁰.

En Angleterre, les choses sont différentes : http://www.atob.org.uk/Electric_price_tag.html. Elles le sont encore plus en Chine.

Aucune étude de marché n'est disponible, qui pourrait donner les attentes des acheteurs potentiels en terme de prix pour les vélos complets comme pour les kits adaptables.



⁸ Le vélo urbain, sans barre de cadre, est pratique pour une circulation à faible allure, avec arrêts fréquents. Il ne faut être ni souple ni sportif pour l'enfourcher ou pour en descendre. Il reste connoté d'une mauvaise efficacité, à laquelle l'assistance électrique est sensée pallier.

⁹ En 1998, un vélo électrique coûtait en Chine entre 250 et 400 dollars. En France, on trouvait des vélos électriques à 3000 Francs.

¹⁰ Ces engins ne sont pas homologués et ne sont pas autorisés sur la voie publique.

Un autre obstacle vient des cyclistes eux-mêmes, qui déconsidèrent ce type de produit et n'encouragent guère les distributeurs et magasins de cycles à le mettre en catalogue.

La promotion du vélo électrique ne doit donc pas se faire en direction des cyclistes, mais en direction de ceux qui souhaitent limiter leur usage de l'automobile, pour des raisons écologiques ou financières, mieux profiter de leur ville, et maintenir un peu d'exercice physique bon pour leur santé.

Une autre cible, assez bien identifiée, est la randonnée touristique (que l'on évitera d'appeler cyclotourisme pour ne pas cibler les vrais cyclotouristes). Malheureusement, les vélos électriques du marché n'ont pas les performances voulues au niveau de l'autonomie. Même si les fabricants annoncent une autonomie de 40 ou 50 km, l'assistance électrique ne dépasse pas en réalité les 20 ou 30 km, si l'on tient compte du vieillissement. Aucun produit ne permet d'envisager des randonnées de plusieurs heures qui nécessite un rayon d'action d'au moins 60 km, un poids cycle+motorisation inférieur à 20 kg et une position de pédalage optimisée pour le confort et le rendement (et la panne éventuelle de batterie !). Patience donc pour goûter sans trop d'effort aux joies de nos jolies campagnes.

On ne saurait écrire sur le vélo électrique sans parler de la lourde expérimentation menée au Canada (<http://www.tc.gc.ca/cdt/sommaire/13700/13732f.htm>) en vue d'évaluer ce mode de locomotion et d'établir une réglementation adaptée. Il en ressort que le vélo électrique a beaucoup séduit les 400 utilisateurs de l'enquête (25 000 km parcourus), et que 2 travailleurs sur 3 pourraient opter pour le vélo pour aller travailler. L'expérimentation conclut aussi qu'il n'y a pas de dégradation de la sécurité lorsque l'assistance peut être fournie sans être conditionnée par le pédalage et lorsque la limite de 24 km/h pour l'assistance électrique a été portée à 32 km/h. Enfin, il apparaît que l'assistance dans les côtes abruptes pourrait être amplifiée. Ces résultats montrent que la réglementation française est plutôt frileuse.

Enfin, il existe des sites Internet proposant des comparatifs des produits du marché. En 1998, le Suisse Johannes Dörndorfer a réalisé un comparatif d'une cinquantaine de vélos électrique avec un protocole assez rigoureux. Les évolutions technologiques sont importantes. Il serait intéressant qu'un laboratoire agréé puisse assurer de façon institutionnelle une évaluation objective sur la base d'essais calibrés (mesure du couple sur la roue à différentes vitesses, rendement de la motorisation, capacité réelle de la batterie avec puissance musculaire calibrée,...).



Partie cycle

Maintenance

Les vélos électriques intégrés, au dessin plus ou moins futuriste, existent, mais, outre le prix et aussi le poids, les acheteurs sont réticents face aux risques de vol ou de vandalisme. Le produit est aussi plus sophistiqué. Une crevaillon, une roue voilée, un frein défaillant, une chaîne usée ou mal réglée, pédalier vibrant sont parfois des problèmes.

Les vélos classiques électrifiés ont l'avantage de la discrétion et une maintenance mécanique un peu plus directe. Le cheminement des câbles n'est pas forcément optimisé pour simplifier les démontages.

Les kits ont aussi une influence sur la facilité de maintenance, du fait des câbles à installer ou du moteur-roue (largeur du moyeu).

Types

La plupart des vélos à pédalage assisté évitent d'avoir l'air un peu sportif ou sévère. Leur dessin est plutôt en douceur, pour une position bien assise plutôt basse, dans laquelle le pédalage est peu efficace. Leur poids avec motorisation est rarement inférieur à 30kg, rendant difficile le transport lorsqu'il faut franchir quelques marches ou un trottoir un peu haut¹¹.

Les VTT électrifiés font leur apparition, mais sont tout aussi lourds.

Les vélos pliables ou à petites roues font en général moins de 20kg.

Les vélos de route sont rares.

Cadre

Le cadre du vélo est en général conçu pour les petits gabarits¹². Les grands gabarits doivent se contenter d'une position peu adaptée à un bon rendement musculaire. Le muscle, c'est quand même la moitié de la fourniture de l'énergie. Autant s'en servir avec efficacité ! Les vélos électriques intégrés offrent peu de choix.

De la même manière, la position droite (à la hollandaise) génère une forte prise au vent.

Ces inconvénients sont mineurs pour les vélos urbains qui sont sans tube horizontal, de façon à permettre de monter et descendre de vélo, de mettre pied à terre facilement au feu rouge et bien sûr de faire du vélo en jupe. Ceci est aussi valable pour le vélo pliable.

Le cycle de randonnée avec assistance au pédalage est avant tout fait pour faire des kilomètres, et la partie cycle est tout aussi importante que le poids de l'assistance et que son autonomie.

La suspension est souvent proposée, sur la fourche avant, sous la selle ou sur la fourche arrière, tout en ajoutant du poids.¹³

Le guidon correspond à l'usage et à aux positions du cycliste. Le guidon droit des VTT n'est pas le plus agréable pour les longues randonnées.

¹¹ Ceux qui recherchent une assistance électrique sont plutôt ceux qui ont peu de forces.

¹² Un vélo de route se décline depuis 48cm entre l'axe du pédalier et l'axe du tube horizontal pour les gabarits inférieurs à 1,60m à 62cm pour les gabarits de 1,50m (entrejambe de 94cm).
<http://pages.globetrotter.net/docvelo/planvelo.htm>

¹³ On pourrait espérer de la part des responsables de voirie que les surfaces roulables soient en bon état, que les regards et bouches d'égouts soient correctement insérés,... évitant ainsi les écarts violents de trajectoire et le voilage des roues. Les suspensions ne devraient pas devenir un luxe nécessaire (coûteux, complexe et consommateur d'énergie)

A noter qu'il n'existe pas de VTT (au sens strict) avec assistance électrique, même si le défi de grimper le Mourre Nègre (Point culminant du Luberon – 600m de dénivelé) avec un vélo à assistance électrique est lancé.

Dérailleur

Le dérailleur reste indispensable, sans avoir besoin de se perdre dans un système à 21 vitesses. Un choix de 10 vitesses devrait suffire pour le cyclotourisme. Pour le vélo urbain, il faut compter avec l'importance des cotes ou la longueur des plats et faux plats sur lesquels on préfère aller un peu vite sans pédaler comme un dératé. Un vélo à 5 vitesses peut paraître limité. Par ailleurs, l'assistance électrique fausse les sensations qui permettent de bien choisir sa vitesse musculaire, au démarrage, comme dans les côtes. Les manivelles longues ne sont pas utiles, car les efforts sont limités.

N'oublions pas le carter de chaîne qui doit protéger le pantalon flottant ou la jupe (voire l'écharpe étrangleuse), car le vélo électrique, c'est aussi la possibilité de se déplacer "tout habillé".

Pour mémoire, le moyeu intégrant le changeur de vitesse est soit trop élémentaire, soit trop cher. Il est difficile d'en savoir plus sur le rendement de ce système.

Eclairage

On pourrait penser que la batterie alimente aussi les feux avant et arrière. Le système avec son câblage est rarement intégré. Certains proposent la classique dynamo en prise sur le pneu, avec un rendement déplorable, ou un moyeu dynamo. Attendons qu'un fabricant propose aux cyclistes un éclairage autonome et amovible à diodes blanches à l'avant, rouges à l'arrière¹⁴, intégrant un mini-panneau solaire pour la recharge qui devrait suffire au très occasionnel usage de nuit.

Freinage

Comme l'on va plutôt moins vite avec un VAE qu'avec un vélo normal, le freinage n'est pas plus un problème. Le cycliste assisté doit prévoir autant qu'un autre sa trajectoire. Un freinage trop violent risque de bloquer la roue et d'engager une glissade, voire de faire plonger le cycliste au-dessus de son guidon. Cela n'est bien sûr pas le cas avec les vélos électriques qui ressemblent à des mobylettes et à qui il faut un freinage conséquent.

V-Brake, disque, tambour, ...le type de frein est un argument commercial plus que technique, sauf peut-être sous la pluie.

Roues

Si le vélo est lourd, les pneus, les jantes, les rayons, les roulements sont en conséquence.

Si le vélo est équipé d'un moteur-roue (les roues à moyeu moteur), celui-ci remplace la roue, pourvu qu'elle soit standard, en respectant le diamètre de la jante, son épaisseur, le type de pneu, l'entre-axe, la gorge de fixation et la zone d'appui des patins de frein.

Si le moyeu moteur est à l'arrière, il faut qu'il intègre correctement la cassette de pignons et la chaîne.



¹⁴ L'éclairage réglementaire doit être continu. Les diodes rouges clignotantes à l'arrière ne sont donc pas réglementaires même si elles sont mieux perçues des automobilistes !!

Motorisations

Les moteurs électriques dont nous avons l'habitude ont un rendement correct lorsque la vitesse de rotation est importante. Le vélo électrique pose un problème particulier, car il doit avoir un rendement élevé sur toute sa plage de fonctionnement. Il faut de la puissance au démarrage, ou à faible allure dans les fortes côtes. Un mauvais rendement à faible vitesse est pénalisant justement là où le cycliste souhaite une assistance (démarrage, côte, vent fort de face) ou s'il roule doucement pour s'économiser en croyant aussi économiser la batterie. Les constructeurs ne fournissent pas la courbe de rendement de leur moteur en fonction de la vitesse, alors que c'est une donnée fondamentale pour évaluer le rayon d'action, ainsi que la sécurité au démarrage : il faut démarrer vite pour être mieux intégré dans la circulation.

En gros, un moteur qui chauffe beaucoup usera plus vite la batterie.

Moteur à aimants permanents, avec ou sans balai, à réluctance variable, sont annoncés entre 150W et 250W, voire plus en puissance crête. 150 W sont insuffisants pour une assistance correcte en côte. 250W peuvent suffire, à condition de ne pas être trop pressé dans les côtes. Hors réglementation, on trouve des moteurs jusqu'à 800W qui pourraient être utiles aux triporteurs. Il serait intéressant de disposer d'un comparatif donnant le couple développé par chacun à 5, 10, 15, 20 et 25 km/h, ainsi que le freinage résiduel (lorsque le rotor non excité reste en prise sur la roue).

Par ailleurs, les moteurs n'ont pas tous le même comportement lorsqu'ils ne sont plus alimentés, lorsque la batterie est vide ou lorsque l'on veut aller plus vite que 25 km/h.

Il y a les moteurs à débrayage mécanique (transmission par galet ou roue libre), ceux qui restent en prise sur la roue et qui constitue un léger frein électromagnétique, c'est à dire quelques watts que le cycliste devra compenser – à moins que le système de commande sache prendre cette énergie résiduelle dans la batterie (?). Il y a aussi les moteurs qui peuvent fonctionner aussi en génératrice (moteur à réluctance variable) pour un illusoire rechargement de la batterie dans les descentes ou un freinage efficace dans les descentes trop importantes.



Stockages d'énergie

Le rayon d'action d'une batterie dépend :

- de sa capacité en Wh¹⁵
- du pourcentage d'assistance requise par le cycliste
- du type de moteur utilisé
- du type de vélo et de pneu (et de la pression de gonflage)
- du poids total Cycliste+vélo+moteur+batterie+bagage
- du profil de l'itinéraire
- de la météo (vents et température)
- de la fréquence des arrêts et démarrages
- de l'état et du vieillissement de la batterie, souvent moins efficace à faible charge

Il n'existe pas de protocole bien défini permettant d'évaluer le rayon d'action réel. Divers témoignages d'utilisateurs réguliers d'assistance électrique font état d'une autonomie réelle de 15 à 30 km.

En général, la batterie, de préférence sous clé, est amovible, pour une recharge à la maison ou au bureau.

Le temps de recharge est de l'ordre de 4h. Quelques systèmes proposent une possibilité de recharge rapide (qui ne doit pas être systématique, sous peine de vieillissement prématuré).

Le nombre de cycles de charge-décharge est d'environ 400 pour une batterie au plomb et 1000 pour une batterie NiMH, soit 2 à 3 ans d'usage quotidien avant remplacement.

L'indicateur de capacité est peu précis, souvent illisible en roulant (mal placé ou avec des diodes invisibles les jours de soleil).

La facture EDF sera d'environ 1 Euro pour 1000 km ! Le panneau solaire pour la recharge d'une batterie reste un choix militant, mais qui pourrait se justifier sur des itinéraires campeurs de plusieurs jours.

La batterie reste un point faible (autonomie, poids, prix, durée de vie). Ce point faible est en cours d'amélioration rapide, ce qui complique singulièrement le choix à l'achat d'un VAE ou d'un kit.

Les batteries au gel de plomb (30Wh/kg) n'ont pas été supplantées par les batteries NiCd (nickel-cadmium), qui n'améliorent pas vraiment la densité d'énergie (50Wh par kg), ont l'inconvénient de l'effet mémoire et sont nettement plus chères. 8kg de batterie, cela fait quand même lourd.

Les batteries NiMH (nickel-métal hydrure) ont le double d'énergie massique et volumique (100Wh/kg). Elles assurent 500 à 1000 cycles d'utilisation. C'est une technologie que l'on rencontre dans les portables et qui ont encore un bon avenir du fait de leur prix.

Les batteries Lithium-Polymère, très récentes, ont une densité 5 fois supérieure à celle des batteries au plomb (150 Wh/kg). La production de masse, incluant les dispositifs de sécurité lors des recharges lentes ou rapides (risques d'explosion) ou lors de décharges trop importantes, a commencé. Les prix devraient commencer à chuter.

¹⁵ Par exemple une batterie de 10Ah/12V aura une capacité de 120Wh

Une batterie Li-ion (Lithium-ion) ou Li-Po (Lithium-Polymère) de 3kg devient suffisante pour assister un cycliste pendant 40 km. On peut espérer que les fabricants français de batteries dans le secteur du transport offrent des produits intégrés dans la gamme 400-500Wh. Sinon, il faut se tourner vers l'Asie (Chine, Corée,...) pour avoir ces produits sur nos vélos. Cette gamme de produits est malheureusement située entre les exigences de l'informatique nomade (poids inférieur à 300gr) et les besoins de la voiture (puissance supérieure à 50kW). On pourrait imaginer que l'aide publique (Drast,...) appuie l'industrialisation de ce type de batterie, véritablement orientée vers un développement durable¹⁶.

Parmi les paramètres à regarder :

- *la courbe de décharge qui doit montrer que la tension ne chute pas trop vite (par exemple, la tension doit être encore à 70% de la tension nominale lorsque la batterie est au 2/3 vide)*
- *la capacité à fournir en continu 250W sans trop de dissipation d'énergie*
- *le taux de décharge par semaine, qui doit être de l'ordre de 1% pour éviter que la batterie soit trop déchargée après plusieurs semaines d'inaction.*
- *l'influence de la température extérieure*
- *la possibilité de charge rapide sans altération des performances (plus les charges sont rapide, plus la durée de vie –nombre de cycles- est écourtée)*
- *la précision de la jauge en fonction de l'âge –nombre de cycles – de la batterie.*
- *le système de recharge, qui peut être intégré à la batterie (pratique mais pesant) ou externalisé, placé à poste lorsque l'usage est répétitif sur le même itinéraire.*

Le site <http://www.extraenergy.org> permet de voir quelques tests sur les batteries au lithium.

L'absence de standard sur les nouvelles technologies et sur leur conditionnement conduit à une dépendance totale vis à vis du fournisseur ou du distributeur.

Il est encore difficile de parler du recyclage des batteries en fin de vie.

A noter la pile à combustible qui équipe quelques vélos prototypes. Le stockage de l'hydrogène pose un problème de sécurité qui se traduit en problème de poids. Une solution est de garder l'hydrogène sous forme de méthanol et de mettre en œuvre un reformeur dont le rôle est d'extraire l'hydrogène du méthanol au fur et à mesure des besoins. A suivre, en supposant qu'il puisse y avoir des distributeurs de méthanol bien répartis géographiquement.

¹⁶ La voiture électrique est certes moins polluante, mais elle participe tout autant que la voiture thermique à l'épuisement des énergies fossiles, soit 40 fois plus au km qu'un vélo électrique (dont la moitié reste musculaire) . L'aide publique serait donc 40 fois mieux utilisée !

Dispositifs de commande

Tous les vélos n'ont pas un interrupteur d'activation/désactivation de l'assistance.

Les systèmes à commande automatique mesure l'effort musculaire grâce à des jauges de contraintes au niveau des manivelles du pédalier. L'assistance est fonction de cet effort.

Certains vélos proposent un bouton poussoir qu'il faut presser et maintenir si l'on veut une assistance ponctuellement plus forte.

Les commandes manuelles comportent plusieurs crans qui permettent de doser l'assistance. Ceci permet d'augmenter le rayon d'action et de donner au cycliste la possibilité d'augmenter son effort s'il sent qu'il "pédale dans le vide". Ce réglage donne aussi l'impression de mieux maîtriser son affaire.

En croisière, l'assistance n'est pas toujours immédiate lorsque l'on recommence à pédaler. Parfois, au démarrage il faut atteindre une vitesse minimale de quelques km/h.

Accessoires

Le VAE urbain dispose souvent d'un panier au guidon et de sacoches à l'arrière.

Les porte-bébés sont aussi adaptables.

Les remorques légères seront légères à tirer.

L'antivol est comme l'antivol efficace de tous les vélos : un U en acier trempé.

Vêtements

Le vélo électrique est fait pour être à l'aise. Il n'existe pas actuellement de vêtements adaptés afin d'affronter l'hiver ou les périodes pluvieuses avec un maximum de confort.

On peut espérer des fabricants d'articles de sport des gabardines (rappelons-nous la bonne époque du cheval, où l'on pouvait galoper de Bordeaux à Bergerac au mois de décembre), coupe-vent, et respirantes, ajustées sur des vêtements de ville, avec une doublure polaire légère, couvrant correctement le cou et les poignets et les genoux, avec bonnet couvrant les oreilles et gants légers.

Ajoutons un poncho de secours très léger et compact lorsqu'il est plié, pour l'exceptionnelle pluie qu'on ne peut éviter, sans oublier des surbottes faciles à mettre, à enlever. Le tout facile à ranger dans un sac.

Utilisations

Les besoins essentiels sont ceux du développement durable :

- *Réduire les dépenses d'énergie, en offrant une alternative confortable à la voiture dans les déplacements urbains ou de loisir.*
- *Redonner vie au quartier et à la ville, en partageant l'espace et en assurant des contacts plus directs et faciles entre les habitants.*

Faire ses courses en VAE, c'est profiter d'un engin facile à garer près de chaque commerçant ou service. C'est aussi se permettre d'ajouter 15 kg de bagages.

Amener son enfant à la crèche en VAE, c'est pratiques pour éviter de sortir la voiture, et de grossir les embouteillages pendant 2km alors que la crèche est à 500m, pour se garer en double file et déposer son enfant dans le stress. Ceci n'est pas réservé aux seuls pays plats.

Un trajet domicile-travail de 7 à 10 km en zone urbanisée sera fait aussi vite en VAE qu'en voiture.

Aller au travail en VAE, c'est prendre l'air comme tous les cyclistes du matin, c'est respirer moins de pollution qu'en faisant la même chose en voiture (Etude ?), c'est s'arrêter facilement pour acheter le pain en rentrant,... le tout sans suer ni souffler.

Le samedi, le dimanche, et pendant les vacances, le VAE permet de faire des randonnées sans le regretter à chaque côte ou si le vent est contraire.

Le VAE peut aussi être un vélo de fonction. Par exemple, les élus et les personnels municipaux à vélo sont plus mobiles qu'en voiture, moins encombrants au niveau du stationnement et plus proches des administrés avec qui ils peuvent avoir plus d'échanges spontanés.

Les livreurs en centre-ville sont moins bruyants que les mobylettes. Le triporteur à assistance électrique est certainement plus efficace que la camionnette avec les colis de petites dimensions, particulièrement dans les rues piétonnes.

Les vélos-taxis sont une alternative intéressante aux taxis et permettent d'animer les villes touristiques.

Les touristes sont intéressés à découvrir la ville en vélo électrique, avec un système de location performant (suivi GPS, navigateur intégré).

Au-delà de la ville, sur les milliers de kilomètres des Véloroutes/Voies Vertes (<http://www.af3v.org>), dans les massifs un peu montagneux, dans les parcs régionaux ou nationaux, dans les zones protégées ou les voitures ne sont pas bienvenues, sur les routes des vins, le long des côtes, à l'assaut des vieux châteaux perchés ou de ceux de la Renaissance, le VAE de route est une façon douce de découvrir nos merveilles touristiques.

Evolutions

Le VAE peut encore progresser dans son évolution technologique :

- Des batteries moins lourdes et de plus grande capacité
- Une motorisation à haut rendement au démarrage et dans les côtes
- Un cycle léger et discret.
- Des kits qui permettent de choisir séparément le vélo.
- Une maintenance facile
- Une ligne de vêtements adaptés
- Un prix attractif

Etat du marché mondial

La multiplicité des fournisseurs et la difficulté d'obtenir des chiffres en Asie, ne permet pas d'établir de statistiques.

On peut estimer que, sur les dix dernières années, il s'est vendu plusieurs millions de VAE ou de kits, en considérant qu'il existe au moins une usine en Chine produisant 50 000 moyeux moteurs par mois.

Photothèque

On ne saurait présenter ici tous les modèles.



Expérimentations françaises et européennes

On peut louer des vélos électriques à Parme, à Berne, à Genève, à Paris (25€ la journée) et bien sûr du côté de Mendrisio pour faire du tourisme autour du lac de Locarno. Tourisme électrique encore en Irlande, à Sligo.

A Lyon, on peut visiter les collines lyonnaises en groupe ou en individuel avec des vélos électriques loués (www.zonecyclable.fr). A St Etienne, les vélos électriques en location permettent de s'affranchir du relief un peu difficile de la ville.

La Ville de Paris est partenaire de l'entreprise "La petite reine" qui livre avec des triporteurs électriques.

A Chartres, des cartes d'abonnement à décompte de temps sont proposées pour l'utilisation d'un vélo électrique à raison de 50 euros les 10 heures.

Dans le Luberon, où plusieurs centaines de kilomètres d'itinéraires cyclistes sont balisés, certains hôteliers louent, en partenariat avec le magasin de cycles, des vélos électriques. Même chose en Camargue ou sur la côte picarde.

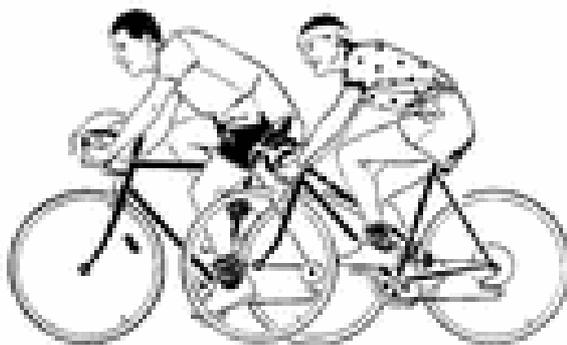
A Sebastopol (Californie), la police est équipée de vélos électriques, considérés comme un bon moyen d'être rapidement sur place sans être hors d'haleine comme avec un vélo classique.

Les policiers de Zurich, en Suisse, patrouillent en vélo électrique.

Pour 45 dollars le WE et pour 4 dollars de l'heure, vous pouvez louer un vélo électrique à Vancouver. (Projet de Environmental Youth Alliance)

A Pasadena, en Californie, en même temps qu'un système de gardiennage de vélos sans clé, propose aussi des vélos électriques à la location.

Dans l'Ohio, on envisage des stations de recharge des vélos électriques à côté des arrêts bus, de façon à encourager l'intermodalité plutôt que l'usage de la voiture.



Driver's attitudes to motorised private transport alternatives

Traduction condensée d'un article de Neil Guthrie, transport planner with Atkins, paru en novembre 2002 dans la revue anglaise TEC

L'article propose des comparaisons entre la Smart, le scooter caréné avec ceinture et sans casque, la mobylette et le vélo électrique, sachant que l'on trouve en Angleterre des vélos électriques à 500 £ (755 €) très concurrentiels de la mobylette et que le nombre de véhicules de moins de 700cc en UK est passé de 70 000 en 1990 à 20 000 en 2000, alors que les 2roues motorisés sont à 800 000 licenciés par an.

A - Analyse de 300 questionnaires, ciblés sur des "commuters" et des acheteurs du samedi après-midi.

75% pensent que ces alternatives peuvent avoir un impact sur l'environnement.

45% pense que le vélo électrique serait "a lot better".

66% pensent que le gouvernement devrait encourager le vélo électrique, 71% pour la Smart, 59% pour les 2roues motorisés

35% pensent que le trafic ira mieux avec des Smart, 78% Vélo électrique, 69% scooter, 71% mobylette

63% pensent que sans effet les Smart, 9% les vélo e, 23% les scooter, 23% les mobylettes

0% pensent à pire avec les Smart, 13% les vélo e, 4% les scooters, 3% les mobylettes

22% seraient prêts à considérer l'achat (were willing to buy) d'une Smart, 4% un vélo électrique, 6% un scooter couvert, 17% une mobylette

19% considèrent l'achat d'une Smart comme possible (were willing possibly), 11% un vélo électrique, 6% un scooter couvert, 8% une mobylette.

30% seraient prêts à payer le prix actuel d'une Smart, 42% vélo électrique, 25% un scooter, 82% une mobylette

5% considèrent l'insécurité pour la Smart, 30% vélo électrique, 50% scooter, 60% mobylette

Raisons pour ne pas acheter:

Smart: trop petit, mauvaise performance, apparence

Vélo électrique et autres 2 roues: sécurité, bagages/passager, préférence pour un vélo classique, intempéries

B- Enquête auprès de possesseurs de vélo électriques

600 questionnaire retourné sur 1800 envoyés à des propriétaires:

Raisons pour l'avoir:

- santé/vieillesse 28%
- aide dans les cotes 13%
- domicile/travail 12%
- économies 9%
- remplace la voiture dans les trajets courts 3%
- environnement, loisir, fitness, et échapper aux difficultés de parking

Comparaison d'usage entre vélo et vélo électrique

usage 6 jours par semaine: 6% et 28%

3-5 jours par semaine: 24% et 77%

1-2 jours par semaine: 70% et 91%

1 fois par mois ou moins: 100% et 100%

Usage avant d'avoir un vélo électrique

Pour domicile/travail: 38% utilisaient la voiture, 37% le vélo classique, 6% le bus, 4% la marche, 3% le train, 5% la Mobylette

Pour les autres usages (shopping, loisirs, visites), à peu près les mêmes proportions

Performances

Avec le vélo électrique, on fait 10 miles (10.6km) à 13mph (21km/h) contre 6,7miles (10,7km) à 10.6mph (17km/h) avec le vélo classique.

Par an, on fait 883 miles (1421km) (VE) contre 123 miles (197km) (à la baisse)

Le cycliste électrique perçoit que sur un trajet moyen de 7.5miles (12km), la mobylette et la voiture vont 2 fois plus vite que lui, le bus 1,1 fois plus lentement, le vélo 1,39 fois et à pied 3 fois

Il perçoit que la mobylette lui reviendrait près de 4 fois plus cher, le bus et la voiture 10 fois.

Pour lui, le vélo électrique lui permet de faire des trajets 1,5 fois éloignés qu'avec un vélo (10 miles contre 6,7 miles) classique, et plus vite (13,1 mph contre 10,6 mph).

Avantages notés, dans l'ordre, du vélo électrique sur les autres modes:

- coût négligeable du km
- liberté/indépendance (ne pas dépendre d'autrui ou de TC)
- bénéfiques sur l'environnement/pollution/propreté
- facilité de parking
- capacité à se jouer des bouchons
- durée de trajet les plus courtes
- absence de taxes, d'assurances, de cours de conduite, de carte grise
- opportunité d'exercice physique

- facilité et confort d'usage

- transport tranquille
- transport porte à porte
- fun
- fresh air
- general convenience

Inconvénients

- problème des intempéries
- autonomie limitée
- faible capacité de transport de bagage
- risques accru de collisions

Mesure pour accroître l'usage:

- pistes cyclables
- parcs à vélo abrités
- sites pour recharger les batteries

Politique gouvernementale envisageable

- publicité
- aide financière à l'achat
- vitesse assistée plus élevée (de 15 mph à 20/25 mph)

Utilisateurs

52% plus de 60 ans

38% entre 41 et 60 ans

8% entre 25 et 40 ans

2% moins de 25 ans

70% hommes

30% femmes

49% retraités

35% travail à temps plein

10% travail à temps partiel

autres: ménagères, étudiants, clergé ou handicapés

Trajets

48% des km pour le domicile-travail

16% pour les courses

14% pour les loisirs

22% autre

Discussion

Même si seulement 5% de la population envisage l'achat d'un vélo électrique, c'est beaucoup.

Le vélo électrique est considéré comme un 2roues plus sécurisé et moins sensible aux intempéries que les mobylettes et scooter .

Considération plus générale sur les modes alternatifs de transports et la Smart.

Conclusion

L'étude suggère que le gouvernement encourage fortement le vélo électrique, la mobylette, le scooter capoté et la Smart comme une alternative au véhicule classique.

L'étude montre que au moins un groupe d'utilisateurs (les propriétaires de vélos électriques) ont changer de mode de transport principalement depuis la voiture.

Les cyclistes électriques ont un usage plus vaste (surtout pour les trajet utilitaires) et plus fréquent que les cyclistes classiques.

Les modes alternatifs assurent un meilleur niveau de mobilité et de souplesse que les TC.



Les institutions et le véhicule électrique

Les institutions s'intéressent essentiellement à la voiture électrique.

Le CERTU (Centre d'Etudes et de Recherche sur le Trafic Urbain), s'intéresse au vélo électrique.

L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Sénateur Pierre LAFFITE - 11/93) a commis un rapport intéressant, dans lequel on peut noter :

"Il est indispensable de développer des centres d'évaluation, de test et de normalisation du véhicule électrique et de prévoir une large information du public".

Cette injonction n'a pas encore été suivie d'effet pour le vélo électrique.

Ce rapport parle aussi de la pollution chimique et sonore:

"à plus long terme, seul le VE apporte une solution définitive et stable dans le temps, car sa pollution locale est nulle". Les recherches sont proposées dans de nombreux domaines car 70% des composants utilisés nécessiteront l'emploi de technologies nouvelles, qui à leur tour engendreront d'autres applications, apportant renouvellement et enrichissement technique.

La DRAST ne retient pas les projets relatifs) l'amélioration technologique des vélos avec assistance électrique au pédalage..

Le CEREVERH (Centre d'Etudes et de Recherche sur les Véhicules Electriques et Hybrides) association loi 1901 est un outil au service de ses adhérents (industriels, des chercheurs, l'Etat et les collectivité) ne propose, sur 81Meuros aucun projet autour du vélo électrique !

AVERE, association pour le développement du véhicule électrique ne mentionne le 2-roues qu'au travers d'un seul scooter électrique !

CITELEC, association des villes européennes intéressées par le véhicule électrique ne mentionne pas les vélos électriques !

