

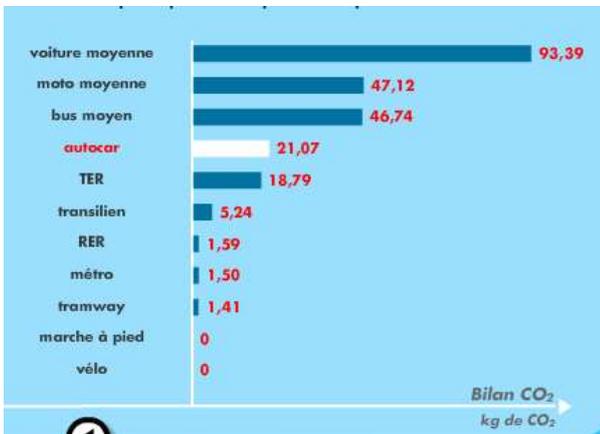
Le vélo à assistance électrique

1. Analyse du besoin :

Selon l'ADEME, en 2002, 30% des émissions françaises des gaz à effet de serre ont pour origine les transports (94% pour les transports routiers, 4% pour l'aviation civile, 2% pour les transports maritimes).



40% des déplacements urbains s'effectuant sur une distance inférieure à 2 km et la vitesse moyenne de déplacement d'une voiture lors d'un trajet en ville est estimée entre 15 et 30 km/h, à rapprocher de celle d'un cycliste estimée à ... 14 km/h..



La figure 1 montre le faible niveau pollution pour des modes de déplacements non motorisés et individuels (marche, vélo, roller) ou à motorisation électrique (tramway) pour des transports en commun sachant que la consommation d'un litre d'essence produit 2,4 Kg de CO₂.

Figure 1 : pollution des différents modes de transports

<http://www2.ademe.fr/eco-deplacements/>

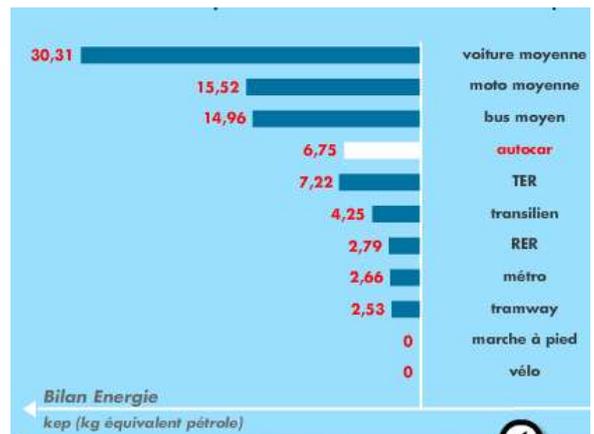
Bien sûr le mode de production de l'énergie électrique pose question en terme de rejets de CO₂ en fonction du type de centrale mise en œuvre : nucléaire (), hydraulique () ou thermique ().

A titre d'exemple, 1 tonne d'émissions équivalent CO₂ par an, c'est :

- 8 000 km en Twingo en ville,
- 3 300 km en 4x4 Mercedes en ville,
- 1 trajet simple Paris-New York en avion,

Si l'on définit l'efficacité énergétique comme la capacité d'un dispositif à rendre un service équivalent en consommant le moins d'énergie possible, la figure 2 met en évidence la piètre performance énergétique des dispositifs à moteur thermique :

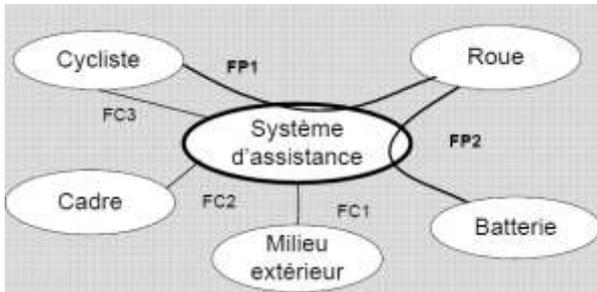
Figure 2



En ce qui concerne l'efficacité énergétique des véhicules « la chasse au gaspi » peut se porter sur les pneumatiques, sur la masse embarquée qui peut encore diminuer, sur une énergie mieux stockée, les pertes aérodynamiques être réduites, tout comme les frottements ou le bruit.

Il est important, dans une démarche d'éco-conception globale, de prendre en compte tous les paramètres du puits jusqu'à la roue.

Diagramme pieuvre du système d'assistance



FP1 Transmettre la puissance du cycliste à la roue.

FP2 Fournir un couple d'appoint en fonction du couple de pédalage et de la vitesse.

FC1 Résister au milieu extérieur.

FC2 S'adapter au cadre du vélo.

FC3 Plaire au cycliste.

Extrait du cahier des charges

FP1 : Transmettre la puissance du cycliste à la roue	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité d'un cycliste peu entraîné - Vitesse en fonction du relief - Vitesse de croisière 	<ul style="list-style-type: none"> - 100 W en régime de croisière, 150 W maximum. - 10 km/h sur une pente à 2° - 15 km/h sur le plat
FP2 : Fournir un couple d'appoint en fonction du couple de pédalage et de la vitesse	<ul style="list-style-type: none"> - Caractéristiques du moteur - Loi d'assistance - Autonomie sur terrain plat 	<ul style="list-style-type: none"> - 235 W - Tension nominale 24 V - Conforme à la réglementation - Entre 15 et 40 km

Contraintes spécifiques au VAE

1.1. Contraintes législatives

Sous la dénomination commune "vélo électrique", il faut entendre "vélo à assistance électrique ou V.A.E.". Cela signifie que l'assistance ne peut fonctionner sans apport d'énergie humaine : ce n'est pas une mobylette.

Afin d'éviter tout litige, une directive européenne fixe les conditions de fonctionnement :

- Arrêt du moteur dès que le cycliste arrête de pédaler ou freine,
- Arrêt du moteur lorsque la vitesse atteint la valeur limite de 25 km/h (le vélo pouvant rouler plus vite),
- Moteur d'une puissance nominale maximale de 250 watts,
- Pas de poignée d'accélération, d'interrupteur, de bouton ou autre dispositif qui permette au vélo d'avancer tout seul

(Un réglage d'assistance (25%, 50% etc...) est cependant possible).

(voir directive européenne 2002/24/CE :

<http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/UnTexteDeJorf?numjo=EQUS0300697A>

1.2. Présentation du VAE Cybien :



Figure 1 : Le VAE Cybien version sport

Ce VAE est constitué de deux moteurs à courant continu débrayables de puissance de 120W utiles chacun, qui prennent en sandwich un polymère fixé au niveau de la jante de la roue arrière.



Figure 2 : Les deux moteurs du VAE Cybien

La partie accumulateur convertisseur est contenue dans un boîtier étanche appelé Réservelec qui peut être rechargé par chargeur sur secteur 230V.

Capacité accumulateur: 16 Ah Lithium ion

Tension : 25.2 Volts

Poids avec électronique de gestion : 3,2 kg,

Durée de vie : 500 cycles, 40 à 50 000 km sont envisageables.



Figure 3 : Le Réservelec

Poids du vélo complet : 20,8 Kg

Autonomie : 100 Km en moyenne sur circuit vallonné d'après le fabricant.

1.3. Description des différents accessoires rajoutés pour l'exploitation pédagogique du VAE :

Dans cette approche nous avons voulu conserver le VAE dans un contexte de cyclisme : les éléments de didactisation (banc de charge, capteur de couple) sont issus de matériels utilisés dans le milieu cycliste pro.

Pour pouvoir étudier le VAE Cybien, nous avons rajouté un capteur de puissance de type Ergomo dans le boîtier du pédalier, et placé le vélo sur un banc d'entraînement appelé ergotrainer pour simuler la résistance à l'avancement.

1.3.1. Capteur de puissance Ergomo

L'ergomètre permet la mesure de la puissance développée par le cycliste sur le terrain, la vitesse, la cadence de pédalage, la température, la fréquence cardiaque, la distance parcourue.

Par la suite il est possible de transférer et d'analyser ces données sur un PC à l'aide d'un tableur.



Figure 4 : Le capteur Ergomo pro et ses accessoires.



Figure 5 : L'ordinateur de bord Ergomo placé sur le guidon.

Montés dans le boîtier de pédalier (figure 5), deux capteurs S1 et S2 (figure 6) permettent de détecter l'angle de torsion γ de l'axe par mesure du déphasage des signaux électriques. Connaissant les propriétés des matériaux de l'axe et sa vitesse de rotation, il est alors possible de calculer le couple M produit et la puissance développée.



Figure 5 : Montage du capteur Ergomo dans le pédalier

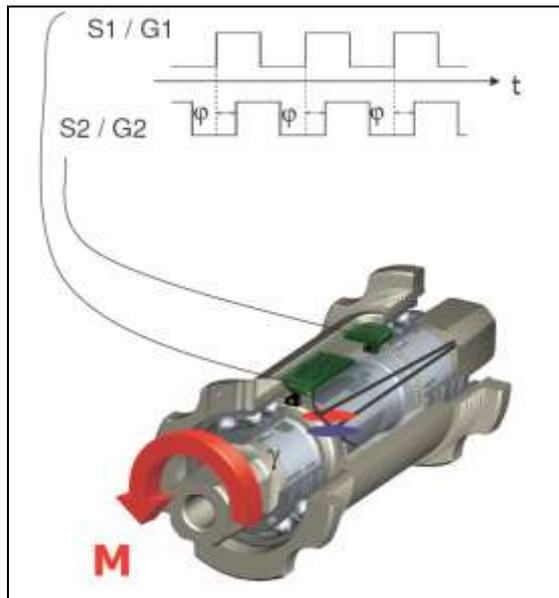


Figure 6 : Principe de mesure du capteur ERGOMO

1.3.2. L'ergotrainer Tacx Cosmos



Figure 7 : L'ergotrainer Tacx Cosmos.

L'ergotrainer est un appareil d'entraînement qui, combiné à un vélo, permet de simuler le relief de la route.

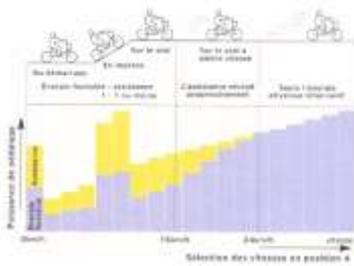
Cet ergotrainer est équipé d'un frein moteur, d'une console de dialogue *Cosmos* (figure 7) sur laquelle on programme des entraînements en puissance, en résistance en côte ou en fréquence cardiaque. Les performances du cycliste sont enregistrées et exploitables sous la forme d'un fichier de données. Naturellement, il est aussi possible de rouler à allure libre.



Figure 8 : La console Cosmos fixée au guidon.

Ainsi par l'ajout de ces deux composants, il est possible d'obtenir pour un parcours précis (ci-dessous) le relevé correspondant à la puissance fournie par le cycliste et le relevé correspondant à la puissance de l'ergotrainer (résistance du rouleau).

Et permet de mettre en évidence l'apport énergétique de l'assistance électrique en faisant la différence des deux relevés.



PARCOURS P2 Avec assistance

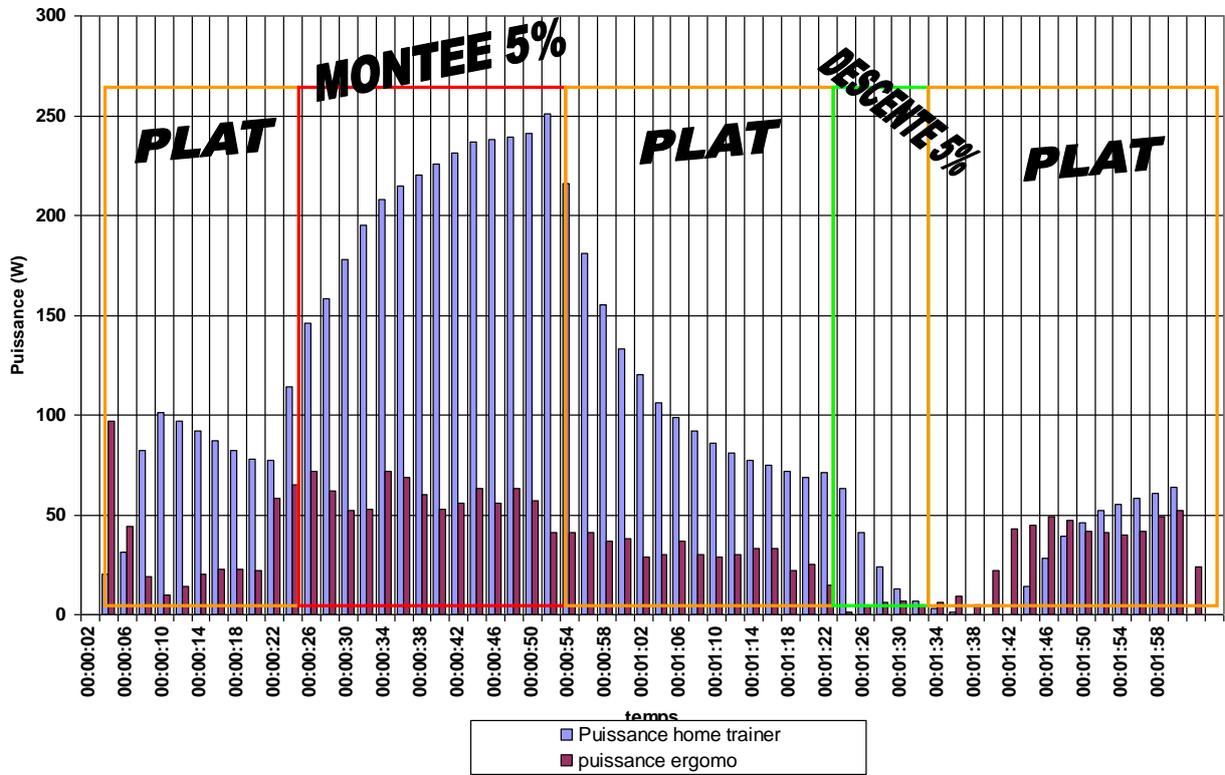
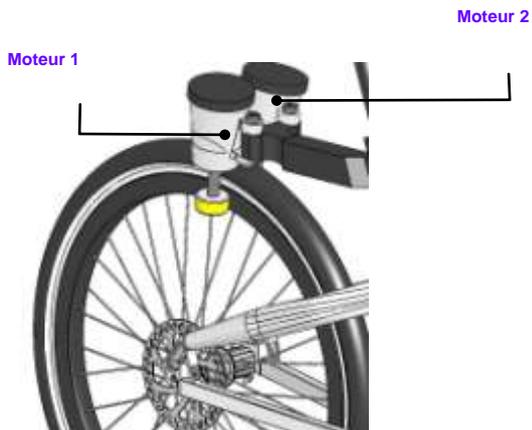


Figure 8 : Relevé extrait sous tableur de l'ergomo et du ergotrainer.

1.4. - Caractérisation du rendement d'une transmission par galet :

Méca : étude énergétique



Elec : choix d'appareillage de mesure

On alimente directement avec la batterie les moteurs sans passer par le convertisseur.

On mesure pour différentes charges constantes imposées par l'ergotrainer (de 40W à 200W), les courants des deux moteurs I_{M1} et I_{M2} , la tension de la batterie U_{bat} , les vitesses de rotation de chaque moteurs Ω_{M1} et Ω_{M2} , ainsi que la vitesse de rotation de la roue arrière Ω_{roue} .

On peut alors déterminer la puissance absorbée :

$$P_{abs} = U_{Bat} \times (I_{M1} + I_{M2})$$

Sachant que la puissance au niveau de la roue est :

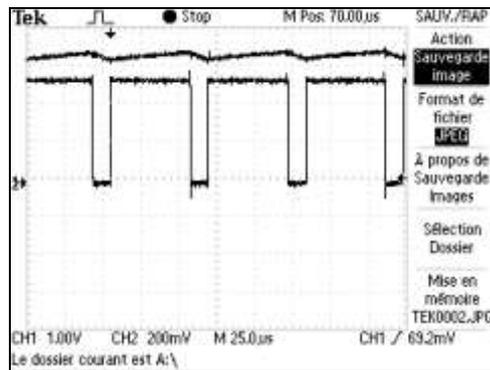
$$P_{ergotrainer} = C^{te}$$

Donc le rendement moteur + transmission vaut :

$$\eta_{M+T} = P_{abs} / P_{ergotrainer}$$

1.5. Caractérisation d'une variation de vitesse :

Elec : étude des 4 quadrants



1.6. Etude comparée de deux VAE de technologie différente :

Le Cybien et le i-step de Matra Sports (équipé du kit BionX)



Figure 12 : Le VAE i-step de Matra Sports.

Le VAE i-step de Matra Sports est basé sur le système BionX, qui s'installe aisément sur la plupart des vélos et s'adapte aux roues de nombreux vélos du 20 au 28 pouces.

Il est composé d'un moteur roue à entraînement direct, c'est-à-dire sans engrenage, et sans balais, d'une batterie amovible et d'une console de commande.



Figure 13 : Le moteur roue BionX.



Figure 14 : La batterie amovible BionX.

Doté de la technologie d'entraînement par champ magnétique, les aimants extérieurs (roue) tournent alors que le stator interne (axe de la roue) ne tourne pas.

Il n'y a donc aucune friction à l'intérieur du moteur et conséquemment aucune usure, Donc une meilleure efficacité énergétique.

De plus, grâce à ses 4 niveaux d'assistance et ses 4 niveaux de régénération, le système BionX assiste le cycliste sans effort à 25 km/h sur une distance jusqu'à 70 km. D'une simple pression sur la console de commande, on peut augmenter la puissance de 25 à 200 %, donnant l'impression de rouler avec un vélo ultra léger en toute circonstance, face au vent ou en côte.

L'assistance est très progressive, fonction du niveau d'assistance choisi et de l'effort produit par le cycliste. Il y a un capteur d'effort au niveau du moyeu AR qui sert à doser l'assistance. On est là en plein dans « l'esprit VAE ».

Qui le différencie de son assistance « tout au démarrage » du VAE Cybien.

La récupération d'énergie est possible, de plus, il permet de gérer un mode « ralentisseur », pour préserver ses patins AR. Très bien dans les fortes descentes, surtout sous la pluie voire sous la neige. On arrive à ralentir de façon très homogène sans risque de blocage de roue. C'est là le principal intérêt de ce mode « générateur ».

De plus, le moteur passe immédiatement en mode générateur dès que l'on presse le levier de frein AR, ce qui accompagne et améliore le freinage.

On peut aussi utiliser le kit en mode « entraînement », en roulant en mode générateur, afin de simuler un relief plus ou moins fort.

Ainsi la comparaison de ces deux procédés d'assistance au pédalage peut être très intéressante.

Références

[1] : VAE Cybien, <http://www.cybien.fr/accueil-velo-electrique.htm>

[2] : Capteur de puissance Ergomo, <http://www.ergomo.net/>

[3] : Ergotrainer Tacx, <http://www.tacx.com/indexv3.php?fl=&language=FR>

[4] : BionX, <http://www.bionx.ca/fr/main/default/1.shtml>

[5] : Matra sports, <http://www.matra-ms.com/vehicules-legers-electriques/matra-sports.html>