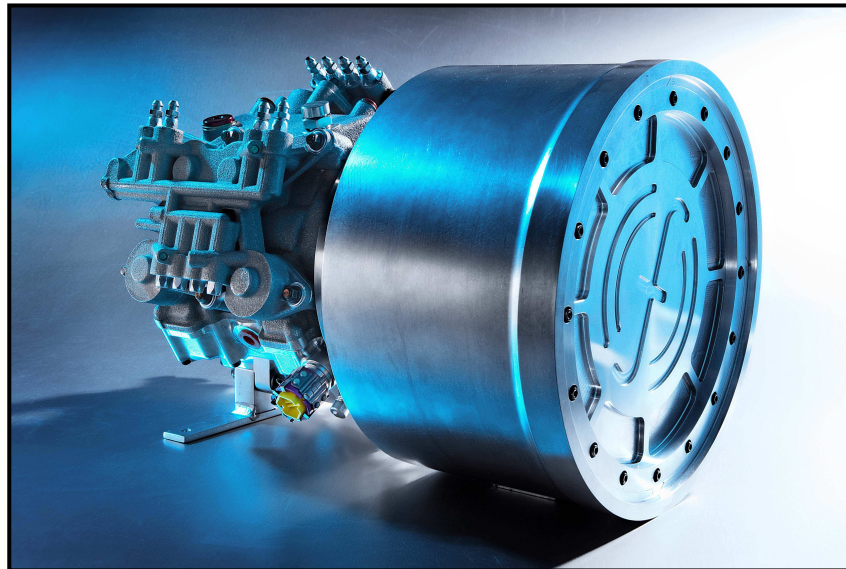


ETUDE DE LA POSSIBILITE D'UTILISER UNE ROUE CINETIQUE POUR USAGE URBAIN D'UN VEHICULE



Etudiants :

William BOISSELEAU

Caroline HERAUVILLE

Marion BOURSIER

Julie SINA

Alice DUCLAUD

Xiang Nan REN

Enseignant-responsable du projet :

Didier VUILLAMY

Date de remise du rapport : 18/06/10

Référence du projet : STPI/P6-3/2009 – 38

Intitulé du projet : ***Etude de la possibilité d'utiliser une roue cinétique pour usage urbain d'un véhicule***

Type de projet : ***étude***

Objectifs du projet :

Le but de ce projet est d'imaginer une roue cinétique permettant à un véhicule urbain de circuler sans utiliser de carburant.

Ce projet se déroule selon les étapes suivantes :

- ***Définition d'une roue cinétique et étude de son fonctionnement***
- ***Etude de véhicules en possession de cette roue***
- ***Modélisation d'une roue cinétique pour un véhicule urbain***

A l'issue de ce projet, nous verrons s'il est possible (et rentable) de mettre en place une roue cinétique à l'intérieur d'un véhicule urbain.

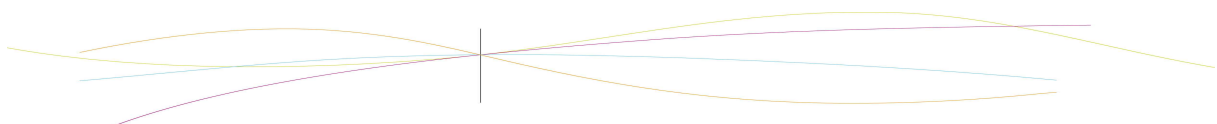
TABLE DES MATIERES

NOTATIONS, ACRONYMES.....	5
REMERCIEMENTS.....	6
1. Introduction	7
2. Méthodologie / Organisation du travail	8
3. Travail réalisé et résultats	9
<u>3.1. Qu'est-ce qu'une roue cinétique ?.....</u>	<u>9</u>
3.1.1. Définition.....	9
3.1.2. L'aspect sécurité.....	9
3.1.3. Pourquoi s'intéresser à une roue cinétique ?.....	10
<u>3.2. Les différents domaines d'utilisation.....</u>	<u>10</u>
3.2.1. Le gyrobus en Suisse.....	10
3.2.1.1. Historique.....	11
3.2.1.2. Mode de fonctionnement.....	12
3.2.2. Le tramway ALSTOM.....	13
3.2.3. Le vélo	15
3.2.4. La voiture	16
3.2.4.1. Le modèle Prius de Toyota.....	16
3.2.4.2. La formule 1 et son système KERS.....	18
<u>3.3. Résultats de notre étude</u>	<u>19</u>
3.3.1. Dimensionnement de notre roue cinétique	19
3.3.2. Les différents systèmes d'interactions entre la roue cinétique et le véhicule ...	20
3.3.2.1. Par liaison directe.....	20
3.3.2.2. A l'aide d'un moteur électrique	20
3.3.2.3. Comparaison entre batterie et roue cinétique.....	21
3.3.3. Le CVT.....	21
3.3.3.1. Qu'est-ce que le CVT ?.....	21
3.3.3.2. Comment ça marche ?.....	22

3.3.3.3. Les avantages et les inconvénients.....	23
3.3.3.4. Un exemple d'utilisation	24
3.3.4. Flybrid : un système cohérent	24
4. Conclusions et perspectives.....	27
5. Bibliographie	29
6. Annexes.....	31
<u>6.1. Cycle NEDC.....</u>	<u>31</u>
<u>6.2. Cycle urbain et extra urbain.....</u>	<u>31</u>
<u>6.3. Différents tests pour le système Flybrid.....</u>	<u>32</u>

Index des illustrations

Figure 1 : Exemple de roue cinétique	9
Figure 2 : Les deux gyrobus d'Yverdon-les-Bains.....	10
Figure 3 : Le Tramway ALSTOM	13
Figure 4 : La roue de Copenhague	15
Figure 5 : La Toyota Prius	16
Figure 6 : Schéma du principe de fonctionnement de la prius.....	17
Figure 7 : Charge de la batterie	18
Figure 8 : Moteur électrique et V8.....	19
Figure 9 : Exemple de liaison directe.....	20
Figure 10 : Illustration de l'exemple ci-dessus	21
Figure 11 : Etape 1 Figure 12 : Etape 2.....	22
Figure 13 : La Kia Ray.....	24
Figure 14 : Comparaison vitesse véhicule et vitesse Flywheel	25
Figure 15 : Disposition d'éléments pour la F1	26



NOTATIONS, ACRONYMES

NEDC : New European Driving Cycle

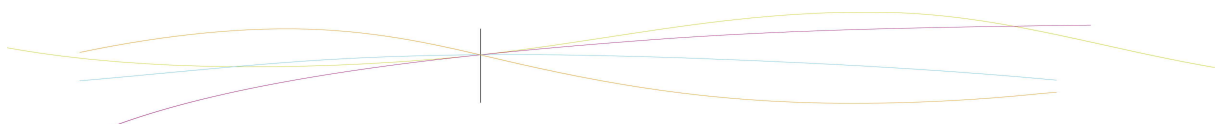
KERS : Kinetic Energy Recovery System

SREC : Système de Récupération d'Énergie Cinétique

IMechE : Institution of Mechanical Engineers

SIA : Société des Ingénieurs de l'Automobile

CCM : Center for Concepts in Mechatronics



REMERCIEMENTS

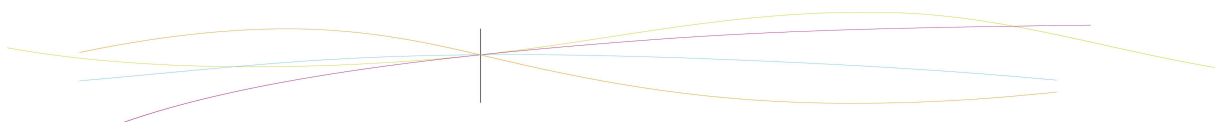
Nous tenons à remercier les personnes suivantes de nous avoir aidés à la réalisation de notre projet.

Tout d'abord bien sûr nous voulons remercier M. Didier VUILLAMY de nous avoir bien éclairés sur le sujet, notamment pour son savoir et ses explications sur le fonctionnement des moteurs, et de nous avoir guidés tout au long de ce projet.

Ensuite Mr Tobias KNICHEL, ingénieur en conception et développement à IMechE, de nous avoir fourni de nombreux documents sur le système Flybrid ainsi que des précisions sur le sujet qui nous ont été très utiles, étant donné que ce système est probablement la réponse à notre problématique.

Puis M. David TAIEB, ancien élève à l'INSA de Rouen, de ses précisions sur les efforts que pourrait subir notre roue cinétique en fonction du freinage.

Enfin Mme Marie-Claude BURAUX, de l'entreprise SIA, de ses précisions sur le cycle NEDC.



1. INTRODUCTION

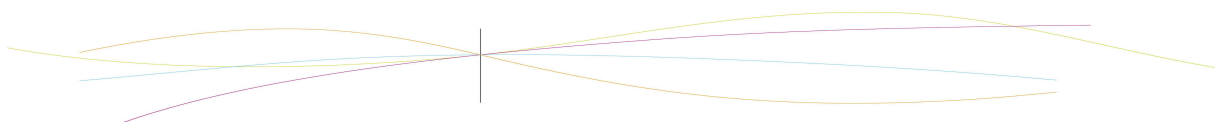
Actuellement, la question de l'environnement est au cœur de nombreux débats politiques. Ces derniers temps, de nombreux constructeurs automobiles cherchent à trouver des alternatives à nos carburants actuels non seulement pour réduire notre consommation importante de carburant, mais aussi pour préserver notre environnement des émissions de CO_2 dans l'atmosphère.

Ainsi, dans le cadre de notre 4^{ème} semestre à l'INSA de Rouen, il nous a été proposé lors de l'UV de physique P6-3 un projet concernant l'étude de la mise en place possible d'une roue cinétique pour un véhicule destiné à un usage urbain.

Ce projet nous intéresse tout particulièrement dans la mesure où le problème de la surconsommation de pétrole et ses conséquences sur l'environnement concerne directement notre avenir. La nécessité de trouver des alternatives à nos carburants est un des enjeux majeurs de ce 21^{ème} siècle, d'où la croissance du nombre de véhicules hybrides.

L'objectif de ce projet est à terme de modéliser une roue cinétique permettant à un véhicule urbain de récupérer l'énergie perdue lors du freinage, et de la réutiliser pour avancer en consommant le moins de carburant possible.

Notre dossier se déroulera donc de la manière suivante : dans un premier temps nous décrirons l'organisation de notre travail. Ensuite, après avoir défini ce qu'est concrètement une roue cinétique, nous étudierons des exemples de véhicules réels utilisant une roue cinétique. Enfin, nous imaginerons une roue cinétique permettant de réaliser notre objectif en prenant en compte son dimensionnement, son mode de transmission d'énergie, ses limites, sa rentabilité etc.



2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

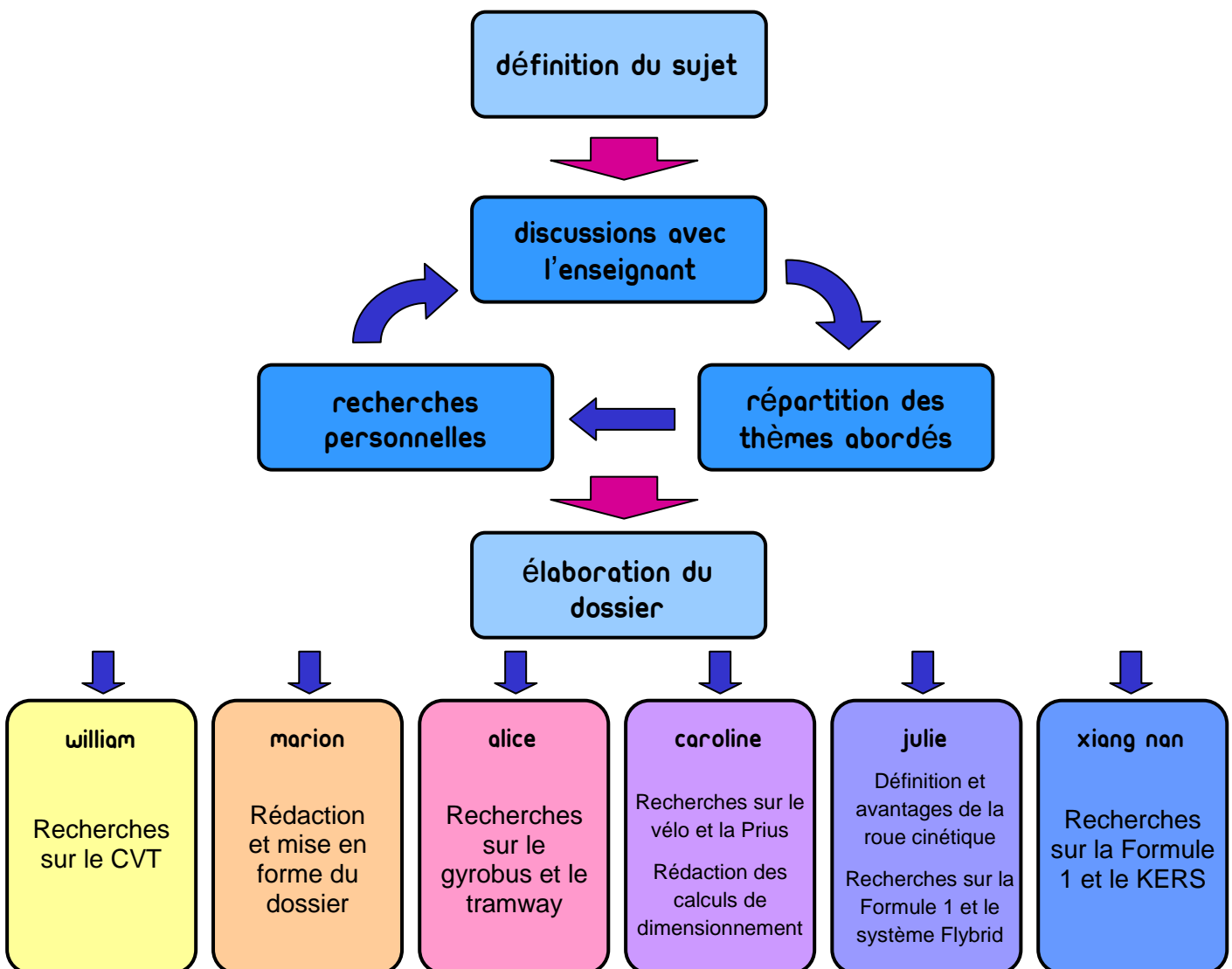
Lors du tout premier cours, il a été convenu avec les membres du groupe 37 et M.VUILLAMY que notre séance d'une heure et demie serait divisée en deux, la première partie pour un groupe et l'autre partie pour le deuxième en alternant chaque semaine. Ceci permet à notre enseignant d'aider chaque groupe individuellement plus efficacement.

Lorsque le groupe 37 se consacre à son thème avec l'aide de M.VUILLAMY, nous allons en salle INFO faire des recherches sur la roue cinétique et son utilisation dans certains véhicules. Ces informations sont ensuite triées et nous en discutons avec notre enseignant pendant la deuxième partie du cours.

Au début du semestre, nous nous sommes focalisés sur le mode de fonctionnement d'un moteur, d'un système de freinage, ou encore du système d'embrayage. Ensuite, nous avons discuté des nouvelles voitures hybrides.

L'organisation de notre travail est cyclique. En effet, à l'issue de chaque séance, nous faisons une liste de thèmes à étudier individuellement chez nous, pour ensuite les mettre en commun par mail ou encore lors de nos passages dans les salles INFO, et enfin en discuter avec notre enseignant au cours de la séance suivante.

En milieu de semestre, nous nous sommes répartis les tâches nécessaires à la production de notre dossier. Cela peut être résumé par l'organigramme suivant :



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Qu'est-ce qu'une roue cinétique ?

3.1.1. Définition

Une **roue cinétique**, ou **volant cinétique** (ou encore *flywheel* en anglais) est grosso modo tout disque pouvant tourner qui sert à récupérer et fournir de l'énergie à un système donné, en stockant cette énergie sous la forme d'énergie cinétique rotationnelle.

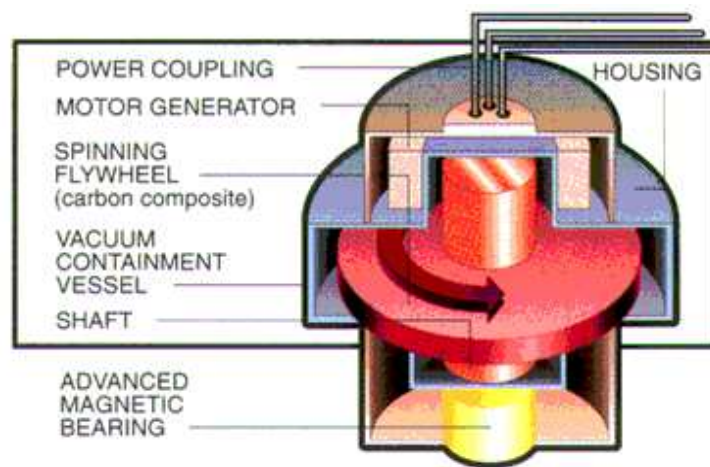


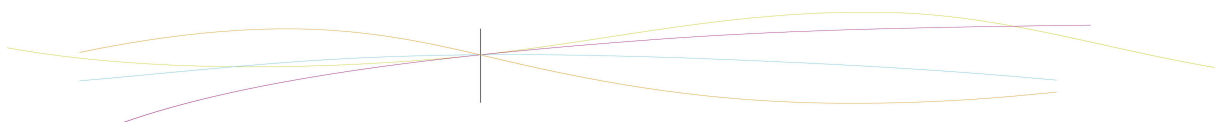
Figure 1 : Exemple de roue cinétique

3.1.2. L'aspect sécurité

Lorsque l'on parle de roue cinétique, ou volant d'inertie, se pose la question de la sécurité d'un tel système. En effet, il est facile d'imaginer une situation extrême où une « folle roue d'inertie », gorgée d'énergie cinétique de rotation, viendrait décapiter les occupants du véhicule... Il faut cependant comprendre que le volant d'inertie est plutôt compact (*pas large et plutôt fin*) et emprisonné dans un bloc très solide.

De plus, un crash test réalisé sur une F1 équipée d'un volant d'inertie développé par la société Torotrack, dont nous parlerons plus tard (voir 3.3.3.), a montré que le volant restait, après accident, contenu dans sa coque et continuait à tourner.

Ainsi, en toute logique, avoir un volant d'inertie dans son véhicule ne le rend, potentiellement, pas plus dangereux que nos voitures actuelles.



3.1.3. Pourquoi s'intéresser à une roue cinétique ?

La roue cinétique, offre de nombreux avantages, outre celui de stocker et redonner de l'énergie. En voici quelques uns:

- L'utilisation d'une roue cinétique n'est pas limitée dans le temps, comme c'est le cas pour les batteries classiques.
- L'utilisation de la roue cinétique ne rejette aucune substance polluante en elle-même. La seule source de pollution provient du système qui lui fournit l'énergie pour la mettre en mouvement.
- Le temps de recharge est extrêmement rapide. Par exemple, le temps de recharge d'un bus urbain varie de 30 secondes à 3 minutes. (voir 3.2.1. *Gyrobus*).
- La roue cinétique peut facilement être couplée avec d'autres sources d'énergie. Ainsi, comme nous le verrons plus tard, la Prius de Toyota possède une roue cinétique couplée avec un moteur électrique. Cela rend la panoplie d'applications encore plus étendue.
- Les roues cinétiques ne dépendent pas de la météo, à l'inverse des panneaux photovoltaïques ou des éoliennes par exemple.
- Leur utilisation est relativement silencieuse.
- Grâce à l'effet gyroscopique, la roue cinétique est fréquemment utilisée par la NASA pour permettre aux satellites de garder une direction. Cependant cet aspect de la roue ne nous intéresse pas pour le problème des voitures, et est au contraire un handicap car cela applique une force supplémentaire lorsque la voiture veut tourner.

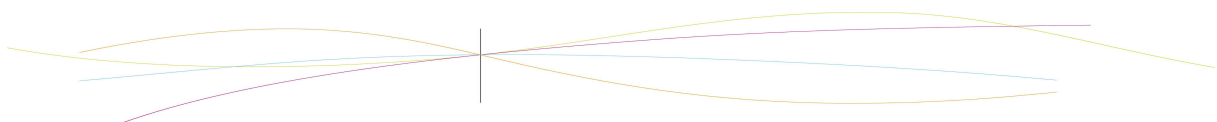
Grâce à ces nombreux avantages, nous allons maintenant voir quelles applications ont été trouvées dans le passé, et encore aujourd'hui.

3.2. Les différents domaines d'utilisation

3.2.1. Le gyrobus en Suisse



Figure 2 : Les deux gyrobuses d'Yverdon-les-Bains



3.2.1.1. Historique

Le **1er octobre 1953**, la ville d'Yverdon-les-Bains inaugure sa première ligne de transports publics. Rompant avec la tradition des trams, des trolleybus ou des bus, la Municipalité avait choisi un moyen inédit en jetant son dévolu sur le «gyrobus», un véhicule électrique sur pneus circulant de manière autonome.

Le principe de fonctionnement du gyrobus a été mis au point à Berlin en 1909 par Auguste Scherl. Un prototype circula en démonstration à Yverdon du 24 novembre au 5 décembre 1950. Les essais furent convaincants et on passa commande de 2 véhicules. Ces derniers avaient une capacité de 70 places (35 assises et 35 debout).

Le **11 octobre 1953**, l'exploitation démarra entre les Tuileries et les Condémines, via Bel-Air soit environ 6 km. Le service assurait 50 courses par jour, et le tarif pour le trajet complet était de 80 centimes.

Durant le premier exercice, les gyrobus ont parcouru 114 000 km, ont transporté 351 000 voyageurs et l'excédent des charges fut de 22 000 Fr, soit moins de 2 Fr par habitant. La consommation de courant électrique était de 346 000 kWh, ce qui représentait une dépense de 24 000 Fr, soit 0,20 Fr environ par kilomètre.

Certaines voix s'élevèrent contre les coûts des gyrobus, et le maintien d'un transport public à Yverdon fit l'objet d'une votation populaire les 24 et 25 octobre 1959. Les citoyens se prononcèrent pour le maintien des transports publics, et il fut décidé de remplacer les gyrobus par des bus de marque Saurer, le **1er novembre 1960**. L'exploitation des gyrobus a donc duré 7 ans.

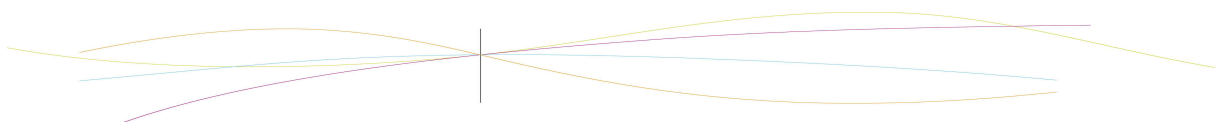
Ainsi en sept ans d'exploitation, les deux gyrobus à disposition ont parcouru 712 000 km, soit environ 340000 km pour chacun des véhicules de la ville ; le solde a été fourni par le prototype Oerlikon, qui assurait les remplacements. Ensemble et durant la même période ils transportèrent 1 953 000 voyageurs.

Leur vitesse maximum était de 60 km/h, pour un poids en charge d'environ 14 tonnes ; la puissance nominale du moteur de traction était de 100 CV et l'effort de traction maximum à la jante de 2 500 kg.

Ecologique avant l'heure, le Gyrobus n'émettait pas de gaz, pas d'odeur, pas de bruit. Il n'imposait pas la construction de lignes de contact ou la pose de rails. Pour pallier les pénuries de pétrole, le gyrobus était par ailleurs idéal. De plus, il était économique à l'usage. Mais alors que s'est-il passé ? Pourquoi après 7 années d'exploitation les deux Gyrobus ont-ils pris le chemin de la casse ?

Les causes d'un insuccès

Il existait tout de même quelques inconvénients qui s'additionnèrent avec le temps et sonnèrent un jour le glas de cette belle aventure. D'abord, il fallait souvent attendre aux arrêts 3 ou 4 minutes pour la recharge, et pour l'usager c'était long. Ensuite le rayon d'action était limité et les jours de grande circulation il était difficile de maintenir la rotation du volant entre les arrêts de recharge. Il devait être relancé pendant une durée de deux à trois minutes tous les cinq kilomètres.



La situation financière de la Société se détériora rapidement, car les frais d'entretien étaient élevés. A remarquer que la Société ne disposait d'aucun garage adéquat pour garantir la maintenance correcte de ces véhicules fort complexes.

Par ailleurs, le système de suspension de l'électrogyro donnait quelques inquiétudes lorsque le Gyrobus devait quitter le tracé habituel pour s'engager sur un terrain plus accidenté (travaux routiers, chantiers, dénivellations). Mais c'est surtout la défection progressive des usagers qui précipita la fin de l'aventure. Plusieurs facteurs peuvent l'expliquer ; par exemple, le choix de l'itinéraire ne rencontrait pas l'approbation générale, ainsi la gare n'était pas desservie.

Il a vite été abandonné en raison de sa masse trop importante et de son effet gyroscopique qui l'ont rendu peu attrayant d'un point de vue économique.

3.2.1.2. Mode de fonctionnement

L'un des gros avantages de ce gyrobus est qu'il n'y a pas de transformation du courant : une prise installée directement sur un réseau de distribution industriel. Le véhicule vient près de la station de charge, et par ses 3 antennes il prend contact avec le réseau, et envoie directement le courant dans le premier moteur couplé au volant.

Le gyro

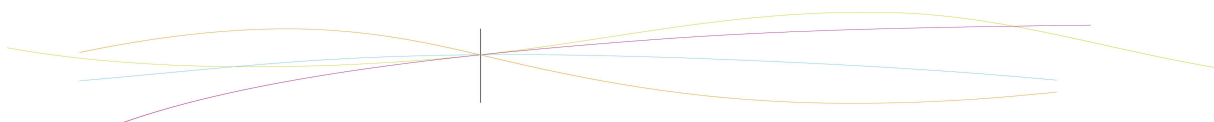
C'est le conservateur d'énergie. Il est constitué d'un volant de 1,6 m de diamètre, pesant 1,5 tonnes et parfaitement équilibré. Ce volant est directement couplé avec le rotor du premier moteur. Le tout est monté sur roulements à billes et enfermé dans un carter étanche rempli d'hydrogène à la pression de 0,1 atmosphère.

Grâce à la connexion au réseau on peut donc lancer le volant à grande vitesse : c'est la charge du conservateur d'énergie. Après une charge de 30 à 180 secondes, selon l'état de décharge, la vitesse linéaire de 3 000 tours/minutes est atteinte, permettant au bus de pouvoir atteindre une vitesse de 60 km/h. Il n'est pas possible d'ailleurs de dépasser cette vitesse limite. Le bobinage du moteur est à 2 pôles et la fréquence du réseau restant à 50 périodes. Ainsi lancé, le gyro peut tourner plusieurs heures (10 heures environ) si on ne lui demande pas d'efforts. Pendant les arrêts, il n'y a pratiquement pas de consommation d'énergie.

Fonctionnement

Le principe du volant électrogyre est connu depuis longtemps. Une masse d'acier logée dans un carter rempli d'hydrogène est entraînée à grande vitesse par un moteur électrique ; afin d'utiliser l'énergie de cette masse, on convertit le moteur électrique en génératrice, laquelle actionne directement un arbre de transmission.

Comparable à un trolleybus, le gyrobus roule sur pneumatiques, mais ne nécessite ni lignes de contact, ni batteries d'accumulateurs. Les roues sont entraînées par un moteur



asynchrone triphasé qui reçoit l'énergie d'un volant suspendu élastiquement sous le véhicule et tournant dans un plan horizontal.

Pendant les arrêts fixes, le conducteur du gyrobus, sans quitter son siège, actionne trois prises de contact disposées sur le toit du véhicule et deux petits bras latéraux qui assurent la mise à terre. Ces prises touchent une amenée de courant horizontale, montée sur un poteau placé en bordure de la chaussée.

Le moteur, couplé directement au volant de l'électrogyro accélère celui-ci jusqu'à la vitesse de 3 000 t/min, opération qui dure trois ou quatre minutes. Pour circuler, les prises de courant s'abaissent et le même moteur, séparé du réseau d'alimentation et excité par des condensateurs, fonctionne alors en alternateur et retransforme l'énergie cinétique en énergie électrique. En perdant de sa vitesse, le volant fournit l'énergie nécessaire pour accomplir un certain parcours.

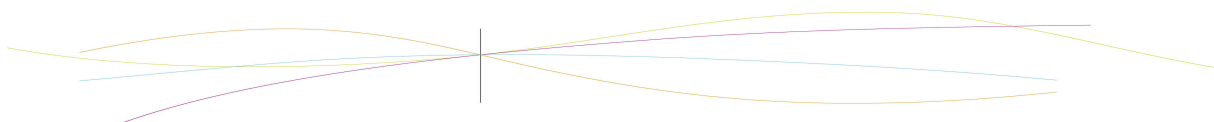
3.2.2. **Le tramway ALSTOM**

Le tramway ALSTOM est équipé d'un volant cinétique. Nous l'avons vu, le volant d'inertie est un système d'autonomie embarqué et permet au tramway de générer sa propre énergie, entièrement renouvelable, en récupérant l'énergie produite lors du freinage. D'autre part, ce système permet d'éviter la pose de poteaux et de lignes aériennes de contact entre deux stations. Totalement innovant dans son principe de fonctionnement, ALSTOM a également réussi à réduire le volume du volant d'inertie et à l'installer sur la toiture du tramway tout en conservant de bonnes performances.

En partenariat avec la société néerlandaise CCM (Center for Concepts in Mechatronics), ALSTOM a conçu un prototype efficace du volant d'inertie, un accumulateur cinétique tournant à 22 000 tours par minute. Avec 230 centimètres de long, 140 centimètres de large, 51 centimètres de haut et une masse de 1200 kilos, ses dimensions n'en demeurent pas moins diminuées par rapport à ce qui pouvait exister auparavant. La principale innovation réside bien dans la taille : avant la réalisation du prototype, la génération précédente de volant d'inertie se situait à l'intérieur du train et ses mensurations généreuses (2 mètres sur 2 mètres sur 2 mètres) auraient nécessité de l'installer à l'intérieur du véhicule dans l'espace voyageurs. Malgré la réduction de ses dimensions, les performances s'avèrent toujours aussi optimales.



Figure 3 : Le Tramway ALSTOM



Fonctionnement

Le volant d'inertie est une masse qui tourne à très grande vitesse, jusqu'à 22 000 tours par minute et qui fonctionne sur le principe d'une « toupie ». L'énergie cinétique emmagasinée par cette masse lors du freinage est restituée par un générateur électrique à la chaîne de traction lors de l'accélération suivante. Le dispositif se recharge à chaque freinage ou par un système de recharge rapide complémentaire lors de chaque arrêt en station. L'utilisation de l'énergie stockée à bord permet ainsi de réduire considérablement la consommation électrique, avec une durée de vie du système égale à celle du tramway.

A Rotterdam, où il équipe une rame test sur les soixante mises en circulation, le stockage par volant d'inertie est très prometteur. « Sur une section plate, un CITADIS muni d'un volant de 325 kW stockant 4 kWh peut parcourir 2 km avec une vitesse de pointe de 50 km/h », indique Jean-Paul Moskowitz, responsable des programmes R&D Systèmes ALSTOM. Outre une recharge plus rapide que celle d'un accumulateur électrochimique, il nécessite une maintenance minimale (changement de roulements).

Respect de l'environnement

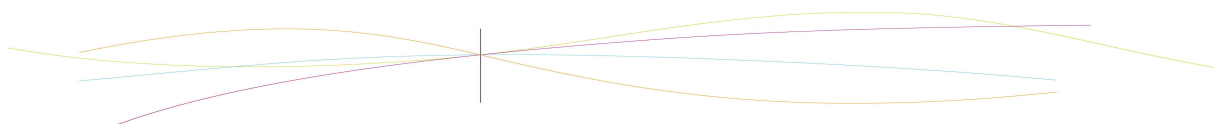
L'utilisation de l'énergie stockée à bord sous forme mécanique, sans aucun élément chimique à recycler en fin de vie en fait un produit particulièrement attractif en termes de préservation de l'environnement. Cela se traduit par une énergie propre, une réduction de la consommation électrique et une durée de vie du système égale à celle du tramway, soit 30 ans.

Dans le cadre des essais réalisés à Rotterdam, il est apparu qu'il était possible de réaliser environ 15% d'économie d'énergie. Le volant d'inertie participe également à la préservation de l'environnement urbain et du patrimoine historique des villes puisqu'il permet au tramway de circuler sans poteaux ni lignes aériennes de contact.

Coût par rapport à un tramway sans caténaire

Les solutions d'autonomie présentent certes un surcoût par rapport à la caténaire, mais qu'il faut relativiser puisqu'il représente une portion minime de la valeur globale de l'investissement (génie civil, équipements, matériel roulant, voie ferrée, architectes, aménagement urbains...).

Un tramway avec volant d'inertie aura des performances optimales moindres même s'il représente un excellent compromis puissance / énergie pour une utilisation en centre-ville. Les essais à Rotterdam ont montré qu'il pouvait atteindre une vitesse de 50 km/h en charge maximale (6 passagers au m²). Quelque soit le mode d'alimentation, les tramways ne sont jamais exploités qu'à une vitesse commerciale moyenne de 30 km/h. Tout dépend donc des contraintes de la ville. A terme, il est envisageable de mixer les deux systèmes. Quant à la batterie, cette solution est plus adaptée, à priori, pour de courtes distances.



3.2.3. Le vélo

Lors de la conférence internationale sur le réchauffement climatique de Copenhague en décembre 2009, les chercheurs du *Senseable City Lab* du MIT (Massachusetts Institute of Technology) ont dévoilé leur projet de roue hybride pour vélo. En effet, ils ont développé un système capable de récupérer l'énergie du freinage et de le retransmettre lorsque l'utilisateur a besoin d'un petit coup de pouce, dans une montée ou au démarrage d'un feu, par exemple.

Cette roue appelée « The Copenhagen Wheel », est adaptable à tous les vélos en circulation. Les technologies qu'elle utilise s'inspirent des systèmes hybrides de l'automobile et notamment du système KERS développé pour la formule 1. En effet, lorsque l'on freine, l'énergie cinétique est récupérée par un moteur électrique, puis stockée dans des batteries situées sur la roue. Cette énergie peut ensuite être réutilisée à tout moment.



Figure 4 : La roue de Copenhague

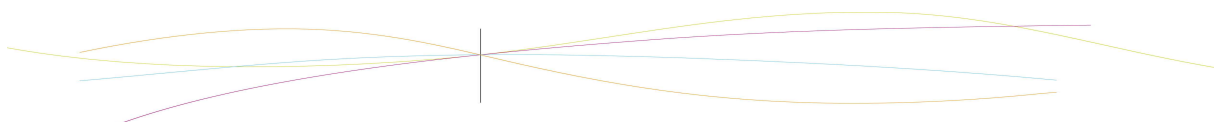
Le MIT souhaite révolutionner la mobilité urbaine et promouvoir le cyclisme en permettant aux gens de parcourir de plus grandes distances. En effet, ce système ne permet pas uniquement de récupérer l'énergie du freinage : grâce à des capteurs placés dans la roue, un système bluetooth permet non seulement de contrôler le vélo à partir de votre Iphone, mais également de vous tenir informé de la circulation, de la pollution, des efforts que vous fournissez, de rester en contact avec vos amis etc.

Cependant, les intérêts évidents de cette roue ont leurs limites. En effet, on peut penser que le pédalage devient plus difficile une fois que l'on a équipé notre vélo de ce système, étant donné qu'il nous faut actionner une dynamo. De plus, le MIT n'a pas dévoilé le poids, la puissance des batteries, le coût, ou encore l'efficacité de ce système.

Il nous est tout de même possible de faire une estimation de l'efficacité de la « Copenhagen Wheel », et de la durée de freinage. Considérons :

- une batterie d'une puissance de $P_{\text{batterie}} = 100 \text{ J/s}$
- une masse de 80 kg (homme + vélo)
- une vitesse $v=20 \text{ km/h} = 5,5 \text{ m/s}$

Ainsi, calculons l'énergie cinétique :



$$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2 \implies E_c = \frac{1}{2} * 80 * 5.5^2 = 1234.6 \text{ J}$$

De plus, la puissance de la batterie correspond à la puissance de freinage maximal.

$$\text{Donc, } P_{\text{freinage}} = \frac{dE_c}{dt} \implies \frac{dE_c}{P_{\text{freinage}}} = \frac{1234,6}{100} = 12 \text{ s}$$

Cette durée de freinage est donc beaucoup trop élevée ! En général, la durée de freinage est de 3 à 4 secondes.

La commercialisation de cette roue de Copenhague est prévue pour 2010 à un prix comparable à ceux des vélos électriques, soit entre 350 et 700 euros.

3.2.4. La voiture

3.2.4.1. Le modèle Prius de Toyota

La Toyota Prius est une voiture à motorisation hybride essence-électricité qui fût lancée aux États-Unis et au Japon avant d'arriver en Europe, en 2003, bien avant que la crise ne s'installe et que l'écologie ne prenne une si grande place dans le monde automobile.

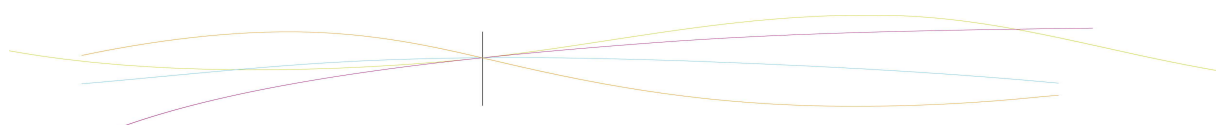


Figure 5 : La Toyota Prius

Toyota est très avant-gardiste en matière d'environnement et d'économie d'énergie. L'idée de départ de la Prius était d'associer un moteur à essence à un moteur électrique, qui serait capable de relayer le moteur thermique selon les situations.

Le principe de fonctionnement de la Prius

Ainsi, dans les phases de démarrage de basses et moyennes vitesses, le moteur à essence n'est pas utilisé. Le véhicule fonctionne uniquement grâce au moteur électrique. Par ailleurs, en phase de conduite normale, un dispositif de répartition distribue la puissance générée par le moteur à essence. Il y a un flux de puissance qui entraîne le générateur qui commande à son tour le moteur électrique, et un autre flux qui actionne directement les roues.



De plus, dans les phases d'accélération, des batteries haute tension fournissent la puissance supplémentaire au moteur électrique qui est secondé par le moteur à essence. Cela procure une accélération souple et linéaire. Enfin, lors des décélérations, freinages ou arrêts, le moteur électrique agit comme un puissant générateur entraîné par les roues. Le système fonctionne comme un freinage régénératif, qui récupère l'énergie cinétique du véhicule sous forme d'énergie électrique, qui sera ensuite stockée dans les batteries. Ainsi, lorsque le véhicule s'arrête à un feu rouge, par exemple, il n'émettra pas de CO₂ et consommera uniquement l'électricité contenue dans ses batteries sans aucune nuisance sonore.

La Prius n'a donc besoin d'aucune recharge électrique extérieure, elle s'auto-suffit en production, stockage et restitution d'énergie. De plus, les concepteurs de la Prius ont développé la technologie « shift by wire » afin de mettre au point la commande du boîtier électronique par un levier de vitesse. Cette commande de boîte comporte 4 positions différentes : N (point mort), D (marche avant), R (marche arrière) et B (frein moteur qui assure une récupération d'énergie supérieure au freinage).

Un système de récupération de l'énergie

Ce véhicule, contrairement aux voitures classiques, possède, comme nous l'avons vu, un système de récupération de l'énergie du freinage. En effet, dans les voitures « traditionnelles », de l'énergie cinétique est perdue à chaque fois que les freins sont utilisés. La Prius récupère et renvoie cette énergie cinétique dans les batteries sous formes d'énergie électrique, permettant en même temps de les recharger. Ce procédé est particulièrement utilisé en ville, où les arrêts et les redémarrages sont extrêmement fréquents. Au freinage, le moteur électrique va agir en tant que générateur, va convertir l'énergie cinétique du véhicule en électricité et sera également employé à maintenir les batteries chargées. A chaque fois que le frein est actionné, le système assure la coordination entre le frein hydraulique, le système de freinage géré électroniquement (ECB) et le freinage à récupération. L'emploi de cette dernière utilisation est privilégié afin de récupérer de l'énergie, même à très faible vitesse.

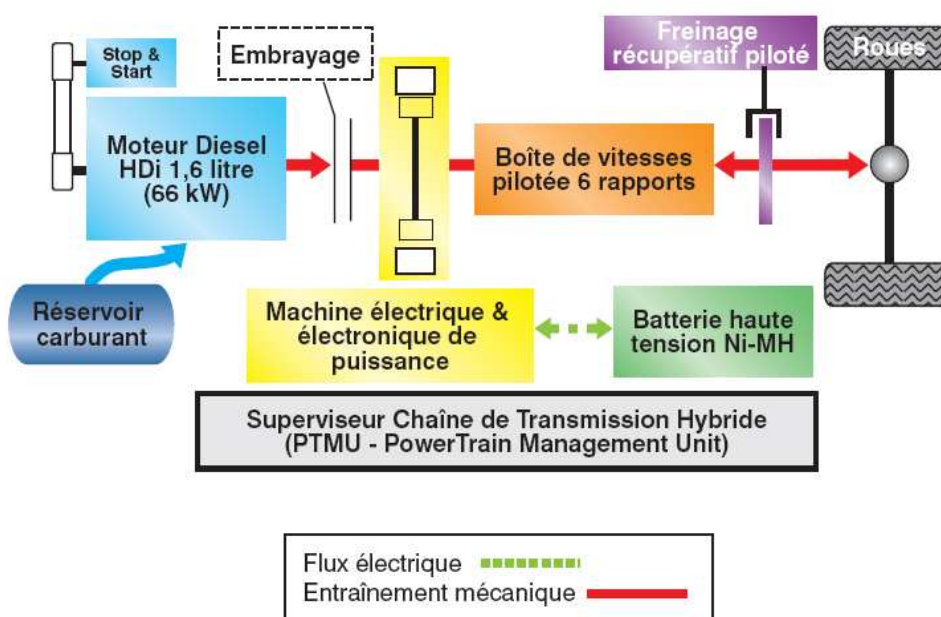
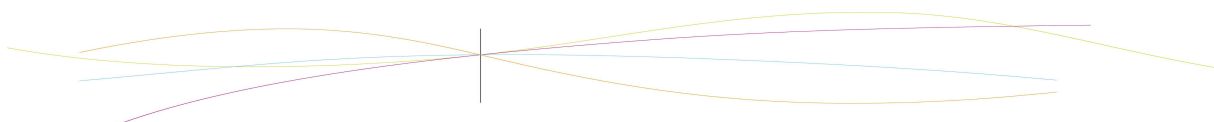


Figure 6 : Schéma du principe de fonctionnement de la Prius



Quelques chiffres

La Prius est équipée d'un moteur à essence de 1,5 litre qui développe une puissance de 78 ch, tourne à 5 000 tr/min au maximum et délivre un couple maximal de 115 Nm à 4000 tr/min. Son moteur électrique se montre plus puissant que la plupart des moteurs à combustion interne de 1,0 à 1,2 litre. La Prius passe de 0 à 100 km en moins de 11 secondes et ne consomme que 3,9 litres en cycle urbain. Le prix de ce véhicule n'est pas rédhibitoire. Par exemple, la Prius est moins chère que la Toyota Avensis turbo-Diesel. Elle est donc réellement la seule voiture qui permet, à l'heure actuelle, aux conducteurs sensibles à la bonne santé de la planète de rouler en consommant moins de carburant.

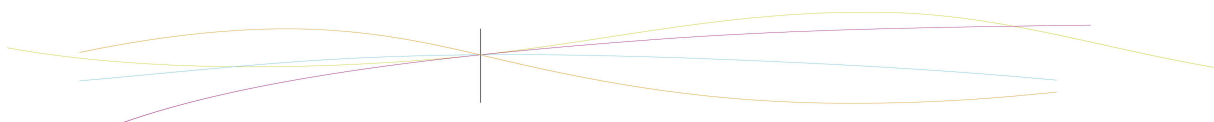
3.2.4.2. La formule 1 et son système KERS

Vous en avez certainement entendu parler : les formules 1 sont dorénavant équipées d'un *Système de Récupération d'Énergie Cinétique* (SREC), plus communément appelé *Kinetic Energy Recovery System* (KERS) en anglais. C'est un système de freinage permettant de récupérer une partie de l'énergie cinétique générée par la décélération au lieu de la disperser sous forme de chaleur.



Figure 7 : Charge de la batterie

Pendant la charge, l'énergie cinétique est accumulée au moment du freinage et transférée vers une batterie d'accumulateurs. À la demande du pilote, l'énergie accumulée dans la batterie est restituée ; elle remet en marche le moteur électrique. Par une cascade de pignons à côté du vilebrequin, le moteur électrique ajoute sa puissance (80 chevaux environ) à celle du V8 de la voiture. Ce moteur électrique est un auxiliaire tout à fait classique, il s'apparente à une dynamo. Mais attention au refroidissement, le V8 tourne à 18000 tours/minutes ; à côté le moteur électrique tourne à 36 000 tours/minutes.



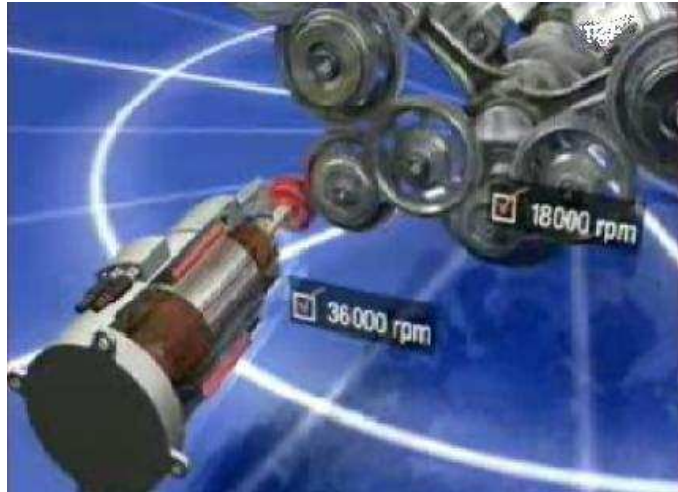


Figure 8 : Moteur électrique et V8

Pour la F1 l'énergie récupérée peut être restituée, selon les règles imposées, dans une limite de 400kJ par tour, en appuyant sur un bouton, déclenchant ainsi un afflux supplémentaire de puissance de 80 chevaux pendant 6,67 secondes (ou 40 chevaux pendant 13 secondes) dans les phases d'accélération.

3.3. Résultats de notre étude

3.3.1. Dimensionnement de notre roue cinétique

Dans un premier temps, nous avons voulu connaître la vitesse de rotation de la roue cinétique en fonction de la place qu'elle occuperait dans une voiture de type urbain. Pour cela, nous avons réalisé différents calculs :

→ Soit un véhicule pesant, $m_{\text{véhicule}} = 1\,500\text{ kg}$, roulant à une vitesse, $V_{\text{max}} = 60\text{ km/h} = 20\text{ m/s}$. Supposons une roue de rayon $R = 0,35\text{ m}$ et de masse $m_{\text{roue}} = 80\text{ kg}$.

→ Calculons l'énergie cinétique du véhicule :

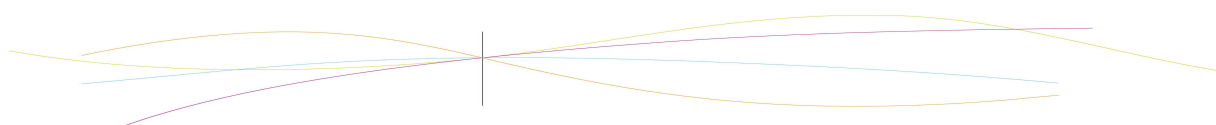
$$E_{c_{\text{véhicule}}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} * 1500 * 20^2 = 300\,000\text{ Joules.}$$

→ Calculons le moment d'inertie (J) de la roue :

$$J = m_{\text{roue}} * R^2 = 80 * 0,35^2 = 7,2\text{ kg/m}^2.$$

→ Ainsi, $E_{c_{\text{roue}}} = \frac{1}{2} J\omega^2 = 3,5\omega^2$

$$E_{c_{\text{véhicule}}} = 300\,000\text{ J}$$



$$E_{C_{roue}} = E_{C_{véhicule}} \implies 3,5 \omega^2 = 300\,000 \implies \omega^2 = \frac{300\,000}{3,5}$$

$$\omega^2 = 300 \text{ rad/s} = 50 \text{ tr/s}$$

3.3.2. Les différents systèmes d'interactions entre la roue cinétique et le véhicule

3.3.2.1. Par liaison directe

La première idée que nous avons eue pour transférer l'énergie de la roue du véhicule à la roue cinétique consistait en une liaison directe entre ces deux éléments. Cependant, nous nous sommes vite rendu compte qu'un tel système n'était pas viable. En effet, lorsque la voiture s'arrête on a $\omega' = 0$ ce qui entraîne $\omega_{roue\ cinétique} = 0$. Or nous souhaitons que celle-ci continue de tourner afin de pouvoir restituer l'énergie qu'elle a emmagasinée au cours du freinage.

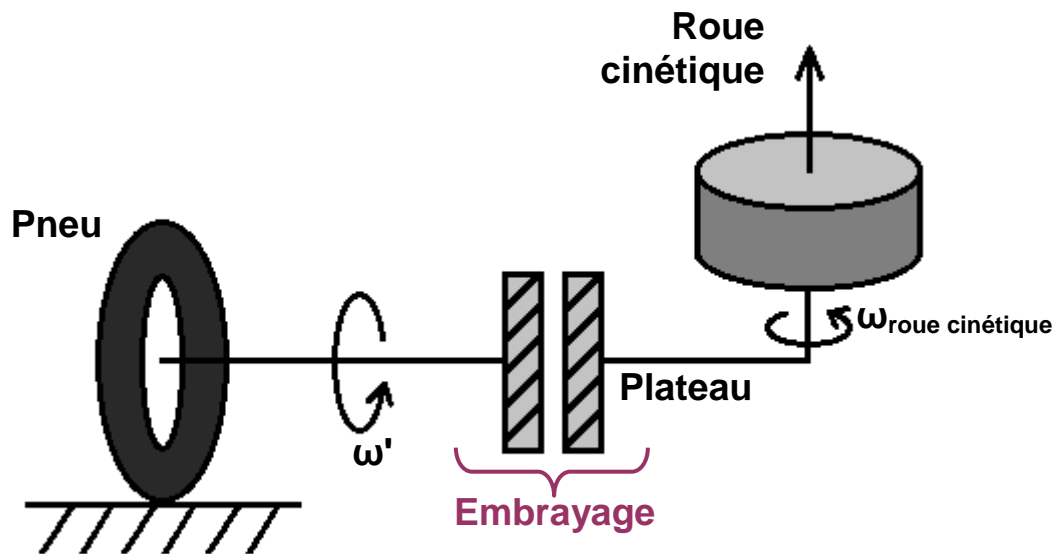
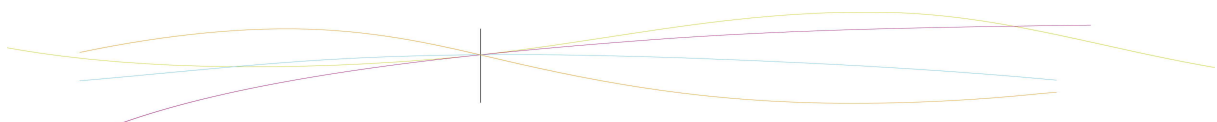


Figure 9 : Exemple de liaison à engrenage directe

3.3.2.2. A l'aide d'un moteur électrique

Lors du freinage l'énergie est envoyée à un alternato-démarrreur d'une puissance comprise entre 5 et 8 kW. Ensuite, elle est transmise à un moteur électrique placé sur la roue cinétique.

Calcul de la durée de freinage induit par un tel système :



Puissance absorbée au freinage : $P = 8 \text{ kW}$

Énergie cinétique du véhicule : $E_c = 300\,000 \text{ J}$ (voir 3.3.1)

$$P = \frac{dE_c}{dt} \implies \frac{dE_c}{P} = \frac{300\,000}{8\,000} = 40 \text{ s}$$

Il nous faudrait donc 40 secondes pour stopper le véhicule avec ce système. Cette durée est beaucoup trop grande. Il nous faut un freinage plus puissant, c'est-à-dire une puissance plus importante.

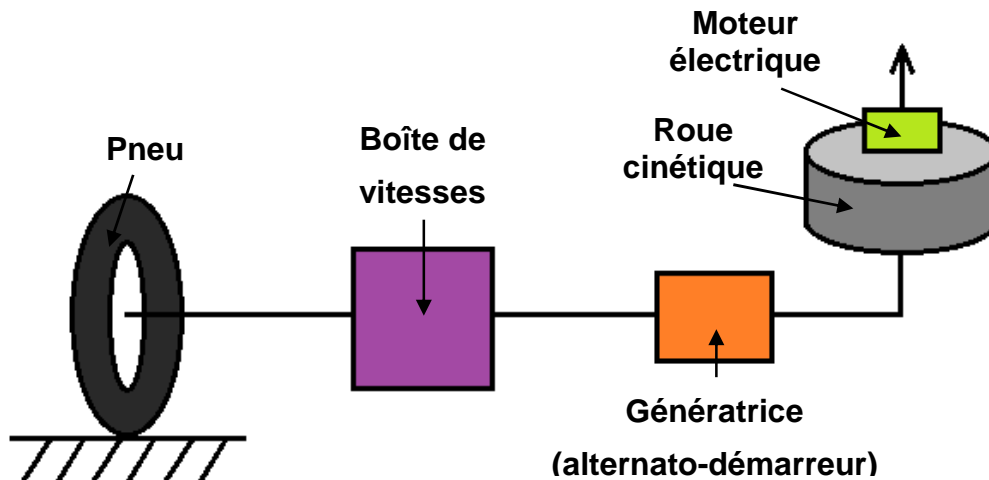


Figure 10 : Illustration de l'exemple ci-dessus

3.3.2.3. Comparaison entre batterie et roue cinétique

Nous nous sommes posé la question de l'efficacité de la roue cinétique par rapport à une batterie de type Lithium-Ion.

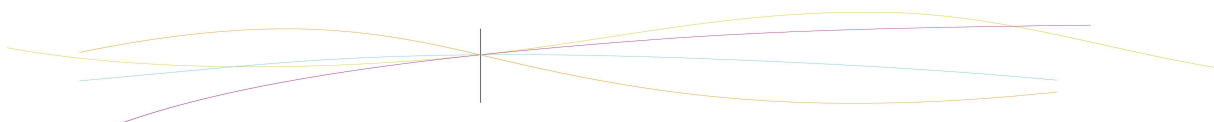
La puissance massique de cette dernière est 140 Wh/kg , ainsi, $140 \times 3\,600 = 504\,000 \text{ J/Kg}$. Il semblerait donc que 1 kg de batterie de type Li-ion suffise pour stocker toute l'énergie récupéré au freinage ($E_c = 300\,000 \text{ J}$).

Les batteries nous apparaissent ici plus efficaces qu'une roue cinétique.

3.3.3. Le CVT

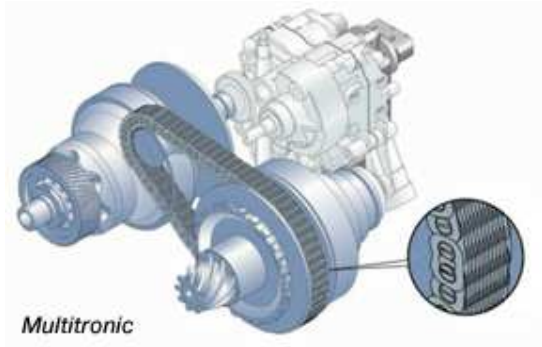
3.3.3.1. Qu'est-ce que le CVT ?

Une transmission à variation continue (CVT en anglais) est une transmission qui peut changer en continu, à travers une infinité de rapports de vitesse. Cela contraste avec



d'autres transmissions mécaniques qui ne permettent que la sélection de quelques-uns des différents rapports de vitesses distincts.

La souplesse d'une CVT permet à l'arbre moteur de maintenir une vitesse angulaire constante sur la plage de vitesse de sortie. Cela peut fournir une bonne économie de carburant par rapport aux autres types de transmission en permettant au moteur de fonctionner à sa révolution la plus efficace par minute. Alternativement, il peut être utilisé pour optimiser les performances d'un véhicule en permettant au moteur de tourner à la vitesse de rotation à laquelle est produit de l'électricité.



3.3.3.2. Comment ça marche ?

Contrairement aux transmissions automatiques et manuelles, la CVT ne possède aucune roue dentelée. Il n'y a donc aucun engrenage qui s'emboîte l'un dans l'autre pour permettre de choisir le bon rapport. En fait, il n'y a que trois éléments principaux qui définissent le cœur même de cette CVT. Deux poulies variables sont reliées entre elles par une courroie. La courroie peut être faite de caoutchouc (tracteurs, cyclomoteurs, VTT et motoneiges) ou de métal (automobile), la deuxième étant plus fiable et efficace. Or, chacune des poulies se compose de deux côtés mobiles en forme de cône dont l'un est variable, c'est-à-dire qu'il s'approche ou s'éloigne de l'autre côté afin de faire monter ou descendre la courroie.

Évidemment, la courroie adopte une forme en V afin de bien épouser la forme de la poulie et ainsi permettre le maximum d'adhérence. La poulie qui est relié au moteur entraîne la deuxième poulie qui, elle, est reliée aux roues motrices. Le transfert de puissance s'effectue donc par la courroie qui relie les deux poulies.



Figure 11 : Etape 1

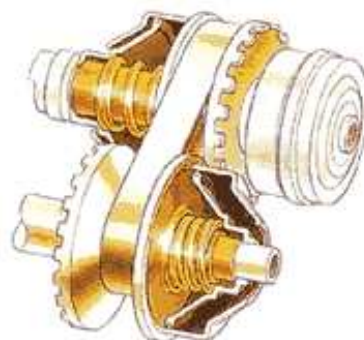
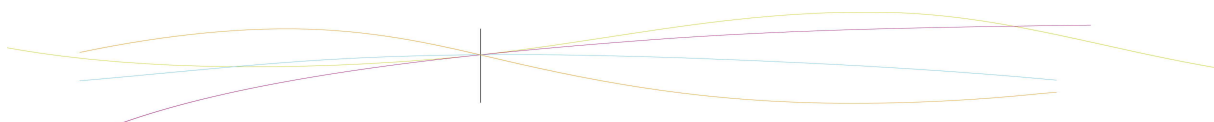


Figure 12 : Etape 2

C'est ce principe qui porte le nom de variateur de vitesses, un principe qui permet de faire varier continuellement le rapport de démultiplication d'un moteur. Le variateur de vitesses est donc composé de deux poulies dont les gorges sont à écartement variable. En fonction de l'écartement des parois des poulies, la courroie pénètre plus ou moins près du centre, et change ainsi le rapport. Généralement, le rapport est choisi par un dispositif centrifuge, en fonction de la vitesse de rotation du moteur. Plus le moteur tourne vite, plus la



démultiplication augmente. Il s'agit évidemment d'une vulgarisation du principe puisque la CVT se compose de plusieurs autres éléments mécaniques et électroniques.

Un autre type de CVT est actuellement utilisé chez certains constructeurs dont fait partie Nissan. Il s'agit de la CVT toroïdale. Dans ce cas, deux disques remplacent les poulies alors que la courroie fait place à deux roues mobiles placées de chaque côté. Le fonctionnement est similaire à celui de la CVT à courroie alors que les roues mobiles se déplacent pour faire varier continuellement le ratio.

Une autre technologie, qui équipe bon nombre de tracteurs, est la CVT hydrostatique. Elle permet également de faire varier continuellement le ratio. À l'entrée, une pompe hydrostatique, entraînée par le moteur principal, permet de faire circuler un fluide qui est par la suite récupéré à la sortie par un moteur hydrostatique qui transforme le mouvement du liquide en mouvement rotationnel aux roues. C'est donc la vitesse du mouvement du liquide qui permet de faire varier continuellement le ratio.

3.3.3.3. *Les avantages et les inconvénients*

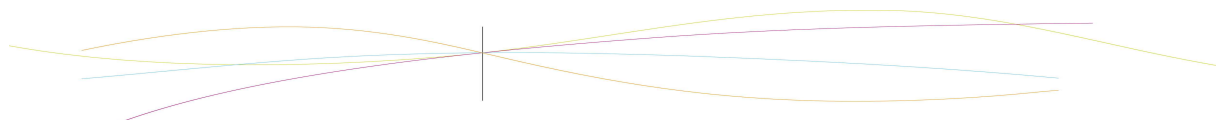
Les avantages de la CVT sont essentiellement liés à l'économie d'essence et à l'émission réduite de CO₂. Avec moins de pièces en mouvement et en se réglant de lui-même sur le ratio le plus efficace, le moteur opère continuellement dans la plage de révolution optimale. La CVT élimine également les changements de rapports perceptibles de la transmission automatique. L'accélération est constante, à condition d'y aller doucement sur la pédale. En général, le fonctionnement plus doux du moteur permet aussi de profiter

d'un habitacle plus calme et insonorisé, ce qui surprend souvent les passagers qui prennent place à bord du véhicule.



Les désavantages de la CVT se comptent sur les doigts d'une seule main. Celui qui revient le plus souvent est le manque de sportivité éprouvé sur les modèles équipés d'une telle transmission. Plusieurs ont effectivement l'impression de conduire un véhicule dépourvu de puissance et de sonorité. Bien que l'on perde effectivement les montées extrêmes en révolution ainsi que la sonorité s'y rapportant, les temps d'accélération observés sur les véhicules dotés de cette transmission ne sont pas bien différents. Dans certains cas, on observe même une amélioration de quelques dixièmes de secondes.

L'autre problème majeur relié à la CVT est son utilisation restreinte aux motorisations à faible cylindrée. De par le principe des poulies et de la courroie, il est difficile pour l'instant de canaliser une importante puissance sans avoir de glissement. C'est pourquoi habituellement on n'utilise la CVT que sur des véhicules où le couple moteur n'est pas trop élevé. On observe également une légère perte de frein moteur comparativement à ce qui se mesure sur une transmission automatique. Mais, tout porte à croire que les recherches menées actuellement permettront d'offrir bientôt ce type de transmission sur tous les véhicules automobiles de la planète.



3.3.3.4. *Un exemple d'utilisation*

Le design de la Kia Ray est fondé sur la technologie « EcoDynamics », qui vise à rendre le véhicule efficace et fonctionnel tout en ayant une apparence attrayante. Du côté de la performance, la Kia Ray arbore fièrement un moteur GDI de 1.4 litres tout en aluminium de 153 chevaux, qui est couplé à un moteur électrique de 78 kWh grâce un variateur de vitesse (CVT). La Kia Ray est un véhicule qui utilise une traction avant, dont les deux moteurs peuvent être utilisés ensemble ou en alternance, dépendant de la condition de conduite.



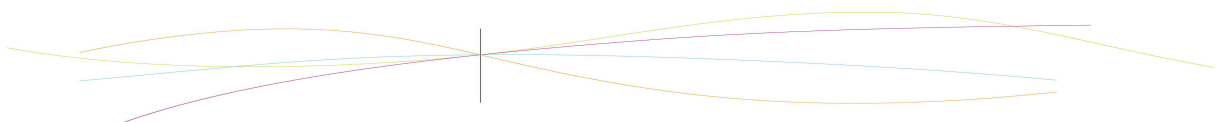
Figure 13 : La Kia Ray

3.3.4. *Flybrid : un système cohérent*

Le System Flybrid a été mis au point par l'entreprise anglaise Flybrid. Ce système répond exactement à nos attentes.

Tout d'abord, ce système n'est en fait qu'un dérivé du KERS utilisé en F1. Cependant, l'entreprise Flybrid a eu l'idée d'adapter ce système à trois types de véhicules:

- la F1
- la voiture de sport
- la voiture de route



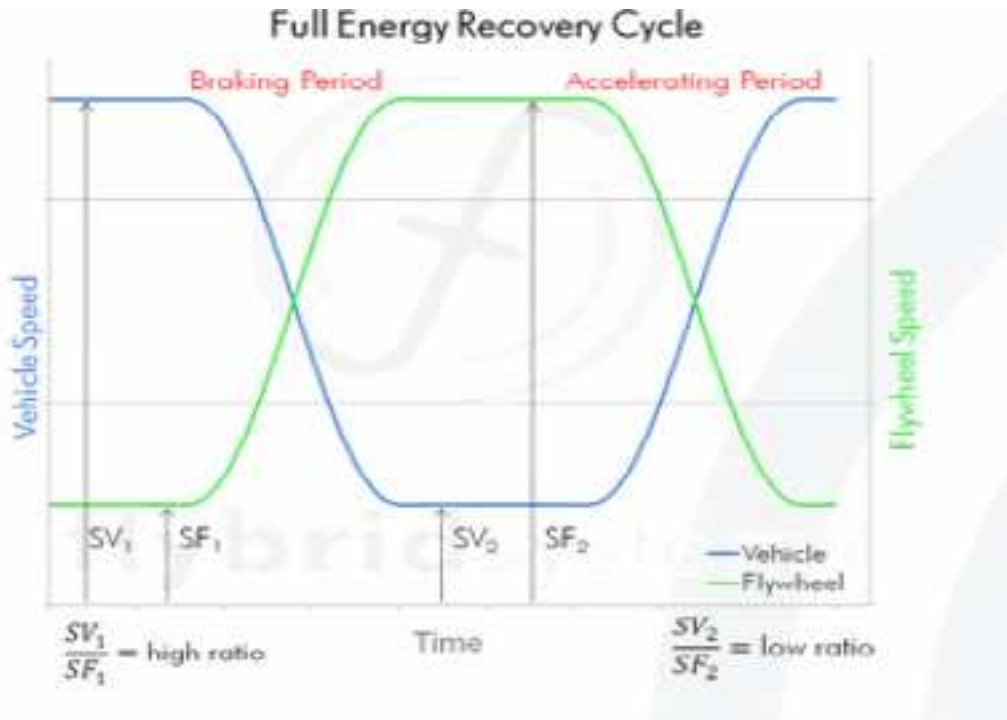


Figure 14: Comparaison vitesse véhicule et vitesse Flywheel

Tout d'abord, voici un rapide descriptif des éléments constituant le système Flybrid.

La roue cinétique tourne à très grande vitesse (de l'ordre de 64 500 tr/min) et est enfermée dans un espace sous vide principalement pour des raisons de sécurité, mais aussi pour négliger les frottements.

La boîte qui contient la roue reste sous vide grâce à l'utilisation de joints étanches.

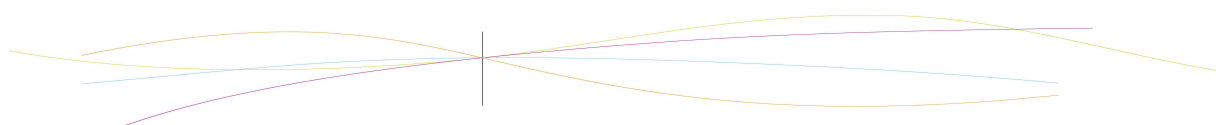
Ensuite, la roue cinétique est reliée au véhicule par un CVT (voir 3.3.3).

Le moment de torsion transféré par le CVT permet de contrôler le stockage et le déstockage d'énergie.

Une prise permet le dégagement du dispositif et réduit au minimum les pertes quand le véhicule est inutilisé.

Caractéristiques du système pour la F1

Puissance	60 kW (limité par la réglementation)
Stockage	400 kJ
Poids	25 kg
Efficacité	Aller-retour mécanique > 70%



Réponse dynamique	De 0 à pleine puissance en 50 ms
Vie	2 000 kms
Vitesse rotation flywheel	64 500 tr/min max
Poids de la flywheel	< 5kg pour 400 kJ

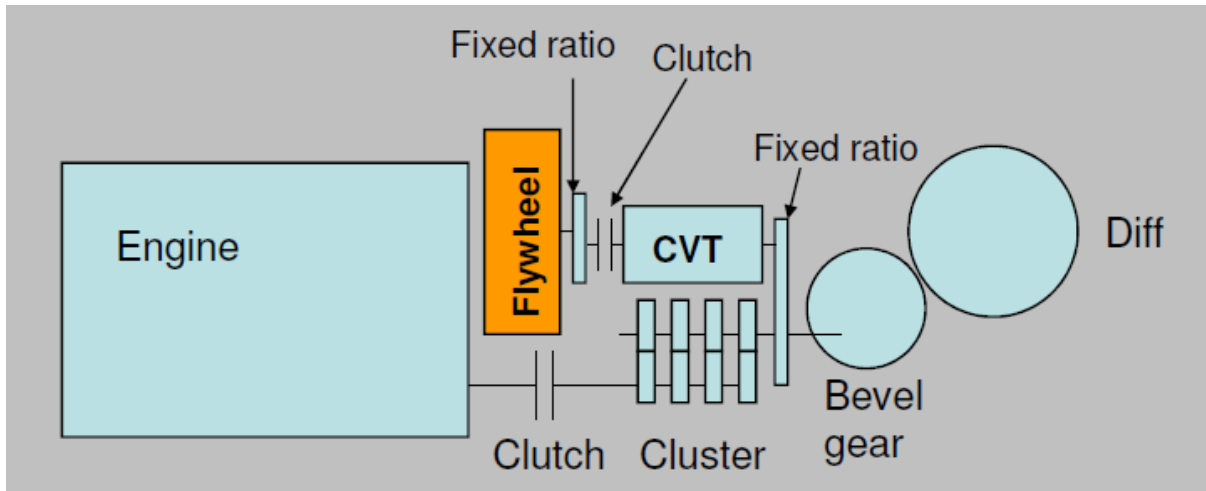


Figure 15 : Disposition d'éléments pour la F1

Comparaison d'un système Flybrid pour véhicule urbain avec un système électrique hybride

	Flybrid System	Hybride électrique
Efficacité	74%	34%
Poids	35 kg	85 kg
Volume	20 L.	50 L.
Coût	2 000 \$	8 000 \$

Le coût annoncé est un coût en production de masse et comprend :

- la roue cinétique
- la transmission CVT
- le système hydraulique
- le contrôle électronique

Flybrid annonce un meilleur rendement car pour un véhicule fonctionnant avec une batterie, l'énergie a besoin d'être transformée plusieurs fois avant d'être stockée (voir

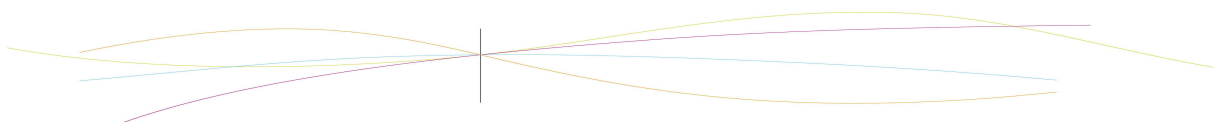
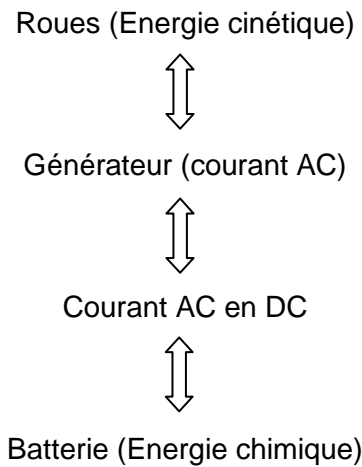


schéma ci-dessous), alors qu'avec un système mécanique de récupération d'énergie cinétique, cette dernière n'a pas besoin d'être convertie.



Matériaux utilisés

Du fait de sa très grande vitesse de rotation, les tensions appliquées sur la roue cinétique sont fortes. De ce fait, toutes les roues cinétiques pour voitures urbaines consistent en un moyeu en acier à très haute résistance (partie centrale d'un mécanisme ou d'une roue qui tourne autour d'un essieu) et le bord de la roue est en fibres de carbone.

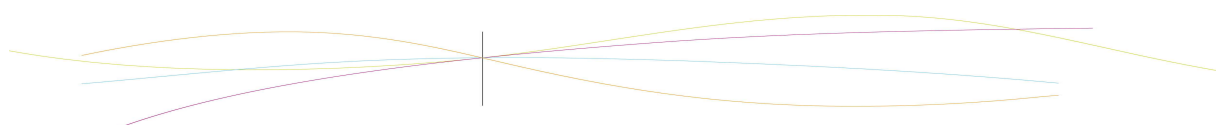
Pour les applications aux voitures de sport, Flybrid utilise parfois des moyeux en titanium.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, nous pouvons affirmer grâce à cette étude que l'utilisation d'une roue cinétique en milieu urbain d'un véhicule est possible. L'idée de la récupération de l'énergie due au freinage est née au cours des années 1950 et n'est donc pas nouvelle.

Cependant, elle est aujourd'hui reprise dans le but d'anticiper l'épuisement des ressources de pétroles et l'augmentation des prix du carburant. En effet, l'ensemble des constructeurs automobile effectuent des recherches afin de développer de nouveaux types de moteurs ou d'utiliser de nouvelles sources d'énergie. C'est le cas des biocarburants ou des voitures électriques, par exemple, mais nous savons que ces deux solutions possèdent leurs limites.

La roue cinétique propose une autre alternative : économiser le carburant en réduisant notre consommation. Elle participe également à la préservation de notre environnement, un des enjeux majeurs de notre époque. De plus, nous avons vu que cette solution est devenu possible mais surtout rentable. On peut donc s'attendre à voir nos voitures équipés de ce système dans un avenir proche.



Apport personnel de ce projet :

Julie

J'ai trouvé ce sujet très intéressant car nous avons fait des recherches sur un sujet que je ne connaissais pas du tout au départ mais qui m'a plu très vite.

J'ai commencé par chercher des informations sur internet en français mais les résultats obtenus étaient très pauvres. Je me suis vite rendu compte que la plupart des brevets et des journaux scientifiques étaient en anglais. C'est pourquoi j'ai continué mes recherches en anglais.

Pour faire simple, ce projet m'a permis de m'améliorer en anglais, d'avoir une expérience de travail de groupe supplémentaire et de me rendre compte que les recherches possibles en physiques sont vraiment intéressantes et utiles.

William

Cette étude était très intéressante du fait que nous sommes partis d'aucune connaissance sur le sujet, puis nous avons, au fur et à mesure des séances, vu grandir une solution technique à notre problème. Cette façon de réfléchir vraiment, ce cheminement, sur un sujet à la base inconnu, étaient bien plus captivants que si nous avions su à quoi nous attendre. De plus, le thème abordé était très actuel, à savoir celui de l'écologie, puisque nous avons montré qu'il est tout à fait possible de changer d'orientations des solutions mécaniques avec des moteurs ou même des voitures globalement plus propres.

Enfin, l'exécution du projet m'a rappelé l'importance de la bonne organisation du groupe et de la répartition des tâches, éléments clefs de la réussite de celui-ci.

Caroline

J'ai trouvé ce projet très intéressant et enrichissant tant sur le plan humain (travail de groupe) que sur le plan physique.

En effet, je ne connaissais pas du tout le principe de la roue cinétique, et j'ai apprécié le fait de réfléchir sur la faisabilité d'un tel projet et sur ces applications concrètes.

De plus, il m'a permis de mieux comprendre le fonctionnement global d'un moteur et des différents systèmes de transmission d'énergie d'une voiture.

Alice

Grâce à ce projet, j'ai beaucoup appris sur les différentes possibilités d'apport énergétique dans une voiture.

Par exemple, je ne connaissais pas du tout le principe de la roue cinétique et très peu le système du moteur électrique. J'ai vraiment compris que pour remplacer les actuels, il y a de nombreux systèmes d'énergie propre.

J'ai donc vraiment approfondi mes connaissances sur le sujet grâce à cette étude.

Xiang Nan

Ce projet a été très intéressant et enrichissant pour moi. J'ai beaucoup appris sur le mode de fonctionnement des moteurs, et je trouve le principe de la roue cinétique très intéressant.

La barrière de la langue n'a pas été un obstacle important, parce que lorsqu'il y avait un problème nous parlions en anglais. Je trouve ceci très enrichissant et important, parce que nous serons confrontés avec ces problèmes dans notre futur métier d'ingénieur.

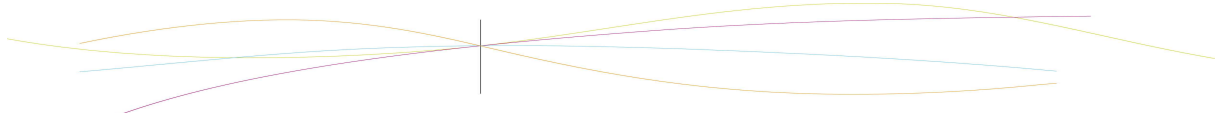
Je garde un très bon souvenir de ce projet de P6-3.

Marion

Ce projet a été une très bonne expérience pour moi. Il m'a non seulement permis de découvrir le monde des moteurs qui m'était quasiment inconnu, mais aussi de participer à la réalisation d'un projet en équipe, qui je pense est un aspect fondamental du métier d'ingénieur.

J'ai trouvé l'ambiance au sein du groupe très bonne, il n'y a eu aucune tension d'aucune sorte, ce qui a été très motivant pour la poursuite du projet.

J'ai beaucoup appris au cours de cette UV, qui restera un très bon souvenir.



Conclusion du groupe

Cette UV de P6-3 a donc été une excellente opportunité de découvrir le travail de groupe, qui fut une expérience très enrichissante. En effet, nous avons appris à nous organiser et à nous répartir les tâches le plus équitablement possible. La bonne entente au sein de notre groupe nous a permis d'être plus motivés dans notre travail, ce qui est primordial pour la mise en œuvre d'un projet.

En outre, cette gestion de projet est importante pour des élèves ingénieurs comme nous dans la mesure où nous serons souvent confrontés à ce genre de situations dans notre futur métier.

Perspectives pour la poursuite du projet

La mise en place d'une roue cinétique dans un véhicule pour usage urbain n'a pas encore été réalisée mais le sera très prochainement. En effet, l'entreprise Flybrid Systems annonce le premier véhicule doté du système Flybrid pour 2013 – en partenariat avec les concepteurs de la Jaguar.

Il serait donc très intéressant pour de futurs groupes de prendre la relève de ce projet et ainsi créer une roue cinétique purement et simplement, ou encore trouver un autre système de récupération de l'énergie due au freinage encore plus efficace et rentable.

5. BIBLIOGRAPHIE

➤ Vélo

<http://senseable.mit.edu/copenhagenwheel/> (valide au 16/06/10)

<http://web.mit.edu/press/2009/copenhagen-wheel.html> (valide au 16/06/10)

<http://cozybeehive.blogspot.com/2010/01/practicalities-concerning-copenhagen.html> (valide au 16/06/10)

➤ Prius

http://www.toyota.fr/cars/new_cars/prius/specs.aspx (valide au 16/06/10)

http://www.webcarcenter.com/dossier/technologie/toyota_prius/fonctionnement_systeme_hybrid.html (valide au 16/06/10)

http://www.imaginascience.com/actualites/accueil_actualites.php?action=fullnews&showcomments=1&id=385 (valide au 16/06/10)

➤ **CVT**

<http://www.torotrak.com> (valide au 16/06/10)

<http://www.autosblog.fr> (valide au 16/06/10)

<http://www.guideautoweb.com> (valide au 16/06/10)

<http://en.wikipedia.org/> (valide au 16/06/10)

<http://www.richhelms.ca/> (valide au 16/06/10)

<http://fuel-efficient-vehicles.org> (valide au 16/06/10)

➤ **Formule 1**

http://www.motorauthority.com/blog/1043441_video-ferrari-shows-off-599-hy-kers-powertrain
(valide au 16/06/10)

➤ **Gyrobus et tramway**

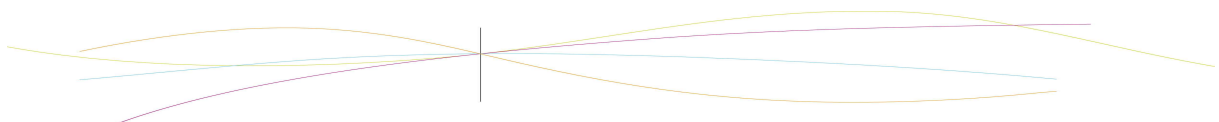
<http://www.travys.ch/Gyrobus.htm> (valide au 16/06/10)

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Gyrobus> (valide au 16/06/10)

http://www.imaginascience.com/actualites/accueil_actualites.php?action=fullnews&showcomments=1&id=385 (valide au 16/06/10)

<http://www.usinenouvelle.com/article/le-tramway-acquiert-l-autonomie-energetique.N52337>
(valide au 16/06/10)

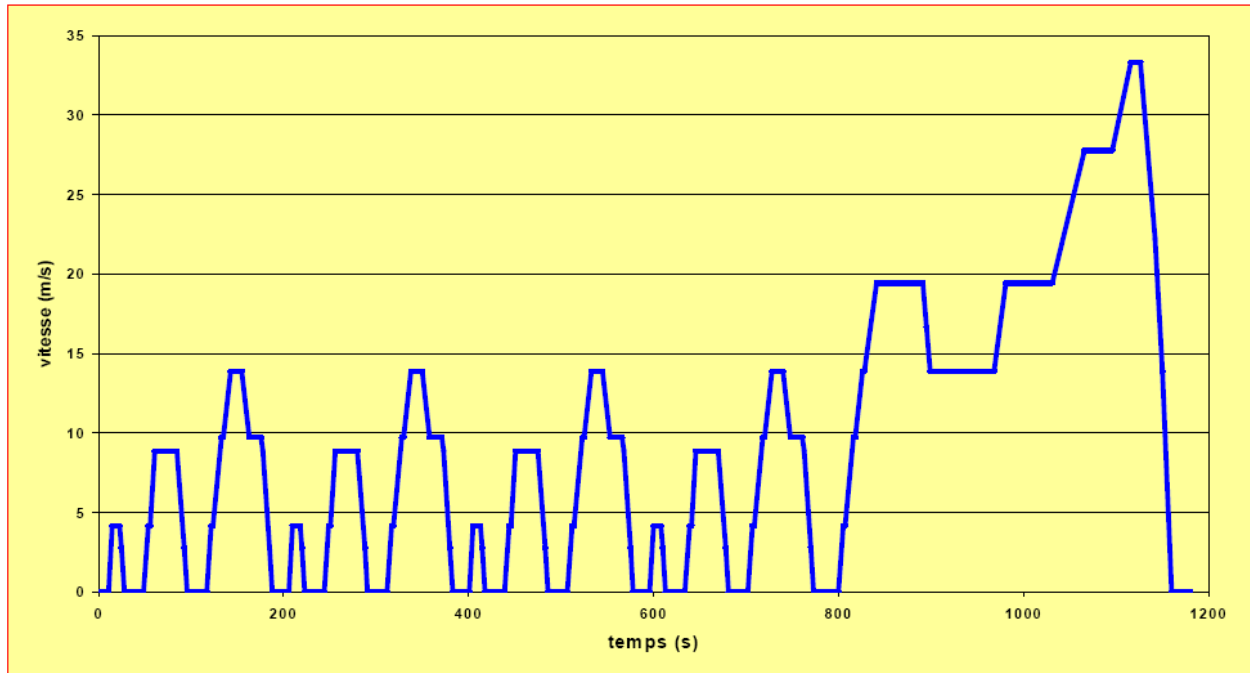
<http://www.citadismag.transport.alstom.com/archives/V1/avance.asp> (valide au 16/06/10)



6. ANNEXES

6.1. Cycle NEDC

NEDC (New European Driving Cycle)

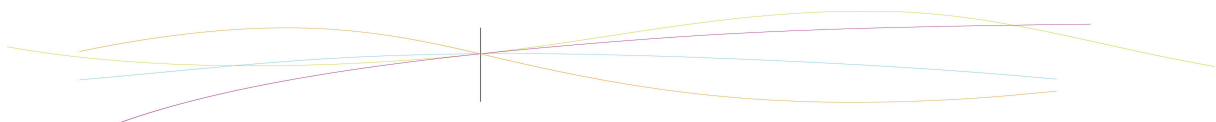


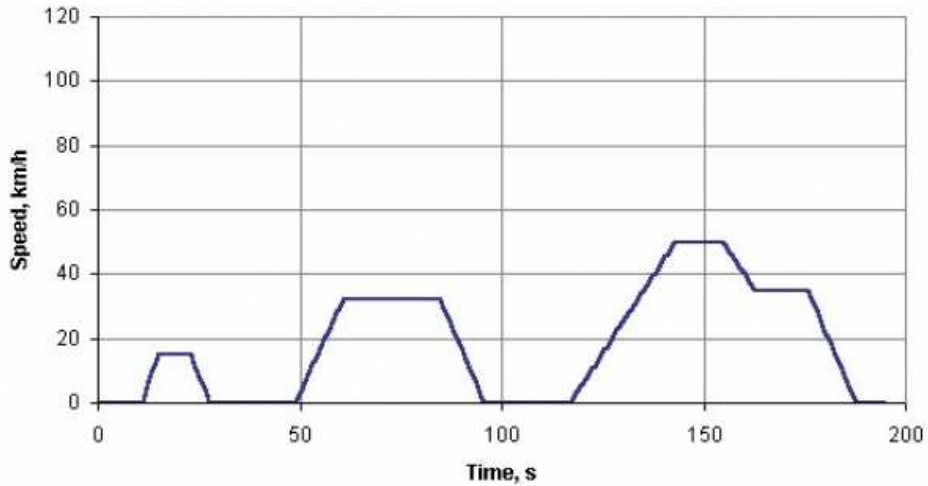
Extrait du fichier de Mr Le DOUARON « 2 Nouvelles approches moteurs ICE2009 »

6.2. Cycle urbain et extra urbain

Cycle urbain

Le cycle urbain est composé de quatre cycles élémentaires (ECE) de 195 secondes chacun et dure 780 secondes au total. L'ECE est un cycle urbain qui représente les conditions de conduite à Paris ou Rome. Il se caractérise par des vitesses, des charges, des températures de gaz faibles.





Récapitulatif	Temps (s)	Pourcentage
Arrêt	60	30,77
Accélération	42	21,54
Vitesse stabilisée	59	30,26
Décélération	34	17,44
Total	195	100

Vitesse moyenne (km/h) 18,77

Distance théorique par cycle urbain élémentaire (m) 1 017

Distance théorique pour quatre cycles élémentaires (m) 4 067

6.3. Différents tests pour le système Flybrid

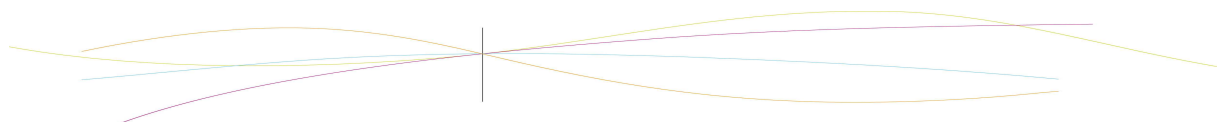
Sur un cycle NEDC le taux de récupération n'est pas très bon car le cycle NEDC comprend des accélérations et décélérations très douces. Pour avoir un bon résultat sur ce cycle il faudrait une solution hybride de faible puissance et avec une petite capacité de stockage.

Cependant, il apparaîtrait que notre conduite en ville soit plus « sportive ». Par conséquent, le rendement serait meilleur.

Voici les résultats des simulations faites sur des véhicules dotés du système Flybrid.

L'entreprise anglaise annonce une économie estimée de carburant de :

- 18 % pour une « saloon car » (une berline en français) de 1,7 tonnes, sur un cycle NEDC.

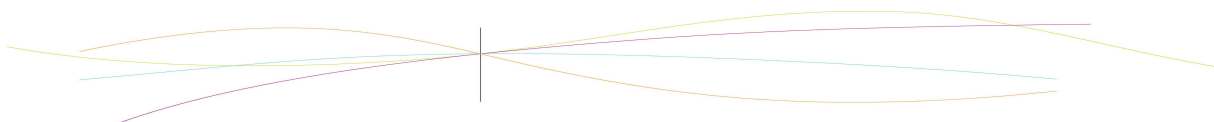
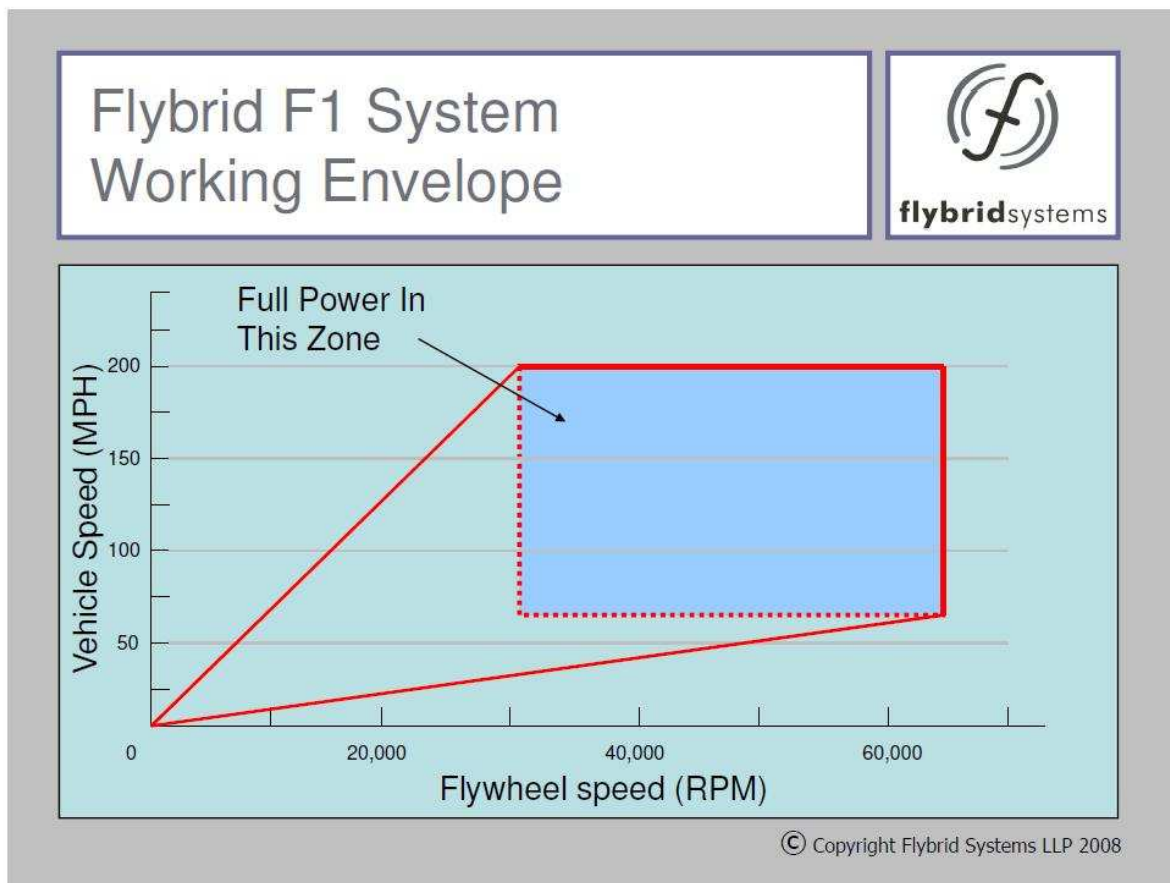


- 35 % pour un 2,6 tonnes SUV (*Sport Utility Vehicle* = véhicule de sport utilitaire) sur un cycle de conduite américain : US FTP.
- 45 % pour un bus de 17 tonnes sur le cycle de conduite londonien.

Au vu de ces résultats nous sommes quand même en mesure de nous interroger sur le moyen de calculer une telle estimation.

De plus, les tests n'ayant pas été effectués sur le même type de véhicule, il est difficile de comparer. En effet, il est évident que plus un véhicule est lourd, plus la quantité d'énergie cinétique emmagasinée dans la roue est grande. Or on voit sur ces chiffres que le pourcentage de récupération grandit en fonction de la masse du véhicule. Ces chiffres ne prouvent donc pas grand chose.

D'un autre côté nous ne sommes pas parvenus à savoir comment était calculé le cycle NEDC. Il est par conséquent impossible de pouvoir vérifier ces chiffres.



INNOVATION WATCH

FLYBRID FLYWHEEL

Despite their eco-friendly credentials and lower fuel costs, electric hybrid cars have not entered the mass-market as expected. Much of this is down to the high price of the batteries, according to British company Flybrid Systems, winner of the British Engineering Excellence award in 2009. They have developed a mechanical solution to fuel-efficient hybrid cars.



The concept for the Flybrid flywheel Kinetic Energy Recovery System (KERS) was originally developed by Jon Hilton and his team when he was technical director of the engine division at Renault F1 in 2006. It is now being brought to market by Silverstone based Flybrid Systems.

Formula One regulations have ruled out KERS being used in the 2010 season but it looks likely to return in subsequent seasons. A partnership with carmaker Jaguar means it could be on the road as early as 2013.

"Flywheel energy storage in transport has been around since the 1950s, so the idea isn't new. What we've done at Flybrid Systems is make the technology much smaller by making the

flywheel rotate much faster," says Flybrid's Managing Partner, Jon Hilton.

So fast, in fact, that the surface of the flywheel can reach Mach 2 and has to be sealed in a vacuum. Flybrid is able to recover up to 600 kJ of kinetic energy normally lost during vehicle braking, store that energy in the spinning flywheel, and release it to improve engine power and reduce fuel consumption. By upping the speed to 64,500 rpm (by comparison, a typical regenerative braking flywheel in a train rotates at 2,500 rpm) the flywheel can be smaller and lightweight but the high speed would have the effect of producing intense heat and friction with the surrounding air. The solution was to contain the flywheel in an airtight casing and

operate it in a vacuum, using a patented seal to allow power to get in and out without air leaking in.

Power is transferred via a continuously variable transmission, controlled by an onboard computer. Like an electric/internal combustion hybrid engine, the Flybrid system will optimise itself for different kinds of driving, aiming to minimise fuel consumption and improve performance. For example, the algorithms that operate the onboard computer will adapt the system to get the best performance in country driving where there is no traffic and then convert to more fuel efficient running for gentler urban driving.

"Flybrid's mechanical solution has several advantages over an

electric hybrid," says Jon Hilton. "It's more efficient at recovering energy – 70%, as opposed to 40%. And the device is small and lightweight compared to electric solutions – it's less than half the weight."

The key to its expected commercial success, he insists, is cost. Electric hybrid cars are still very expensive – prices start at around £17,000 for an entry-level model. The Flybrid system costs around a third of the equivalent electric systems opening up a market for low cost hybrid cars.

Working with a consortium of UK companies including Jaguar and Ford, and using £3.3 million funding from the Technology Strategy Board, Flybrid Systems is developing a system for road cars that it expects to release in 2013. Designed to last 250,000 km, the flywheel hybrid system for road cars is expected to offer 20% CO₂ fuel savings under New European Driving Cycle test conditions, and up to 30% in real-world conditions.

www.flybridsystems.com

