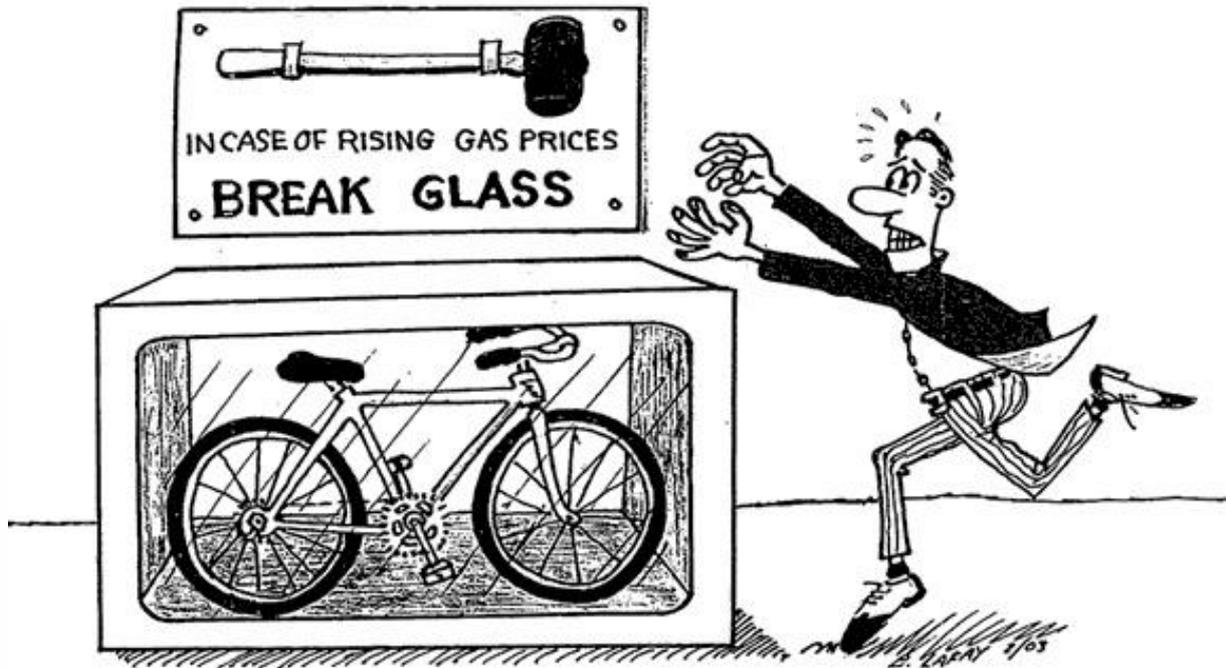


Introduction de la roue à inertie sur un vélo



Quand l'essence augmente, il faut bien chercher de nouvelles solutions !

Etudiants :

Baptiste FLIPON

Ming da LIU

Octave SAUNIER

Stéphane RENAULT

Nattawat SUNPITUKSAREE

Guido VAN RIJCKEVORSEL

Enseignant-responsable du projet :

Didier VUILLAMY

Date de remise du rapport : 18 / 06 / 2012

Référence du projet : STPI/P6-3/2011 – 13

Intitulé du projet : **Introduction de la roue à inertie sur un vélo**

Type de projet : **Etude de concept et de technologie, calcul, bibliographie**

Objectifs du projet :

Ce projet a pour but de s'intéresser à la perte d'énergie qui a lieu lors du freinage d'un vélo. L'objectif est d'étudier la roue à inertie comme solution possible pour lutter contre cette perte. Pour ce faire, ce projet va parcourir différentes solutions technologiques et techniques abordées au cours de l'élaboration de la roue à inertie idéale. De plus des calculs viendront compléter cette étude en démontrant l'utilité et le rendement d'une telle solution.

Enfin à la fin de ce projet une conclusion ainsi qu'une ouverture viendront exploiter les résultats pour en faire sortir une réponse quant à la cohérence de cette solution technique vis-à-vis des autres solutions possibles.

Mots-clefs du projet :

- Travail en groupe
- Imagination et créativité
- Réalité
- Vérification et démonstration par le calcul

Table des matières

Table des matières	4
Notations, acronymes	6
Remerciements.....	7
Introduction	8
Méthodologie – Organisation du travail.....	9
Travail réalisé et résultats.....	11
1 Présentation du sujet et définitions de base	11
1.1 Présentation générale du sujet	11
1.2 Buts et objectifs recherchés dans ce projet.....	11
1.2.1 Un système mécanique de roue cinétique, une alternative au vélo électrique et leurs batteries.....	11
1.2.2 Récupérer l'énergie dissipée au freinage	11
1.2.3 Utiliser une roue cinétique pour stocker et restituer cette énergie	11
1.2.4 Créer un prototype de vélo à roue cinétique	11
1.3 Qu'est-ce qu'une roue cinétique ?	12
1.3.1 Définition	12
1.3.2 Principaux avantages de la roue cinétique.....	12
1.3.2.1 Énergie cinétique de rotation.....	12
1.3.2.2 Calcul de J	12
1.4 Qu'est-ce qu'un dispositif d'embrayage ?.....	13
1.4.1 Définition	13
1.4.2 Les différentes phases de fonctionnement de l'embrayage	13
1.5 Qu'est-ce qu'un variateur de vitesse ?	14
1.5.1 Définition	14
1.5.2 Principe de fonctionnement.....	14
1.6 Cahier des charges.....	15
1.6.1 Nos besoins.....	15
1.6.2 Nos contraintes	15
1.7 Dimensionnement de la roue cinétique	15
1.7.1 1 ^e séance.....	15
1.7.2 Paramètres fixes	15
1.7.3 Paramètres variables.....	16
1.7.4 Calculs effectués.....	16

2	Pistes de recherche et solutions techniques	16
2.1	Calculs préliminaires concernant un embrayage simple.....	16
2.2	Transmission d'énergie (CVT, calcul transmission).....	18
2.3	Premier système à galet	20
2.3.1	Comment est réalisée la variation de vitesse ?.....	21
2.3.2	Problèmes ? Limites ?.....	21
2.4	Second système à galet.....	22
2.4.1	Comment est réalisée la variation de vitesse ?.....	23
2.4.2	Comment l'embrayage et le débrayage sont-ils réalisés ?.....	23
2.4.3	Problèmes ? Limites ?.....	24
2.5	Le système poulie courroie	24
	Conclusions.....	27
	Conclusion de l'aspect technique du projet.....	27
	Apport personnel pour ce projet.....	27
	Conclusion du groupe.....	29
	Perspective pour la suite du projet.....	29
	Bibliographie	30
	Crédits d'illustration.....	31
	Annexes	32

Notations, acronymes

CVT : Continuously Variable Transmission

KERS : Kinetic Energy Recovery System

Ec : Energie cinétique

J : Moment d'inertie

ω : Vitesse angulaire (rad/s)

ρ : Masse volumique

Remerciements

Nous tenons à remercier monsieur Vuillamy qui nous a guidé tout au long de ce projet. Nous avons apprécié son expérience et sa pédagogie qui nous ont permis de comprendre les tenants et aboutissants des mécanismes et de nous plonger dans le cœur de la mécanique.

Nous souhaitons remercier également les élèves du précédent projet concernant « l'étude de la possibilité d'utiliser une roue cinétique pour usage urbain d'un véhicule », car ils nous ont permis de partir avec un rapport propre, complet et bien rédigé à propos de la roue cinétique. Grâce à eux nous avons très vite saisi les enjeux et le fonctionnement global de la roue cinétique, bien qu'ils s'intéressaient d'avantage à une application de ce système dans le domaine de l'automobile ou des transports en commun. Alors que, pour notre part, nous nous concentrerons d'avantage à une application de la roue cinétique sur un vélo. Donc merci à William Boisseleau, Caroline Herauville, Marion Boursier, Julie Sina, Alice Duclaud, Xiang Nan Ren et encore une fois à monsieur Vuillamy qui fut l'enseignant responsable de leur projet.

Il nous tenait à cœur de remercier nos camarades de l'INSA avec qui nous avons discuté de nos sujets respectifs et grâce auxquels nous avons eu des idées pour avancer dans ce projet.

Et enfin nous remercions l'ensemble du corps professoral grâce auquel nous avons les connaissances nécessaires pour mener ce projet à bien, et plus particulièrement les professeurs qui nous ont permis de répondre à des questions relatives à la mécanique.



Introduction

De nos jours et depuis la création du vélo, qui ne sait jamais dit « *Zut ! Quelle énergie gaspillée à chaque fois que je freine !* » Et bien c'est à partir de ce constat qu'est né notre projet.

Celui-ci se déroule pendant notre quatrième semestre de formation ingénieur initiale, à l'INSA de Rouen. Il constitue un EC à part entière au cours duquel nous utilisons nos connaissances scientifiques dans le but de répondre à une problématique ou à un sujet concret.

Notre sujet concerne la mise en place d'une roue à inertie sur un vélo. C'est un sujet susceptible d'intéresser de nombreuses personnes car, en France, près de 45% de la population pratique le vélo, que ce soit pour le loisir ou en tant qu'activité sportive. De plus d'un point de vue plus général, il s'inscrit dans l'actualité car l'homme cherche divers moyens pour répondre à ses besoins énergétiques. Or une piste non négligeable est de diminuer le gaspillage d'énergie. La mise en place de roues à inertie que ce soit sur les vélos, ou dans d'autres domaines comme l'automobile par exemple, permettrait d'optimiser la gestion de l'énergie et ainsi de diminuer les efforts à fournir par l'utilisateur, ou sa consommation.

Ce projet nous intéresse tout particulièrement dans la mesure où nous nous destinons tous à poursuivre notre formation dans le domaine de la mécanique ou de l'énergétique, c'est pourquoi il constitue un premier contact avec ce domaine des sciences que nous apprécions.

L'objectif de ce projet est à terme de répondre à la problématique suivante, « **La roue à inertie appliquée à un vélo est-elle une solution viable et envisageable pour améliorer le confort d'utilisation et ainsi développer le rôle du vélo dans les modes de transports urbains ?** »

Pour répondre au mieux à cette problématique nous avons donc décidé d'organiser ce dossier de la manière suivante : dans un premier temps nous présenterons nos méthodes de travail en groupe et notre organisation. Puis, une fois que nous aurons expliqué le principe de la roue à inertie et les différentes technologies qu'elle requiert, nous vous présenterons les différentes idées que nous avons eu pour essayer d'appliquer ce système sur la roue du vélo, ainsi que les différents calculs que nous avons réalisés et analysés. Enfin, nous nous intéresserons aux principaux obstacles de cette solution technique pour, dans un dernier temps, conclure sur l'efficacité ou non d'un tel système.

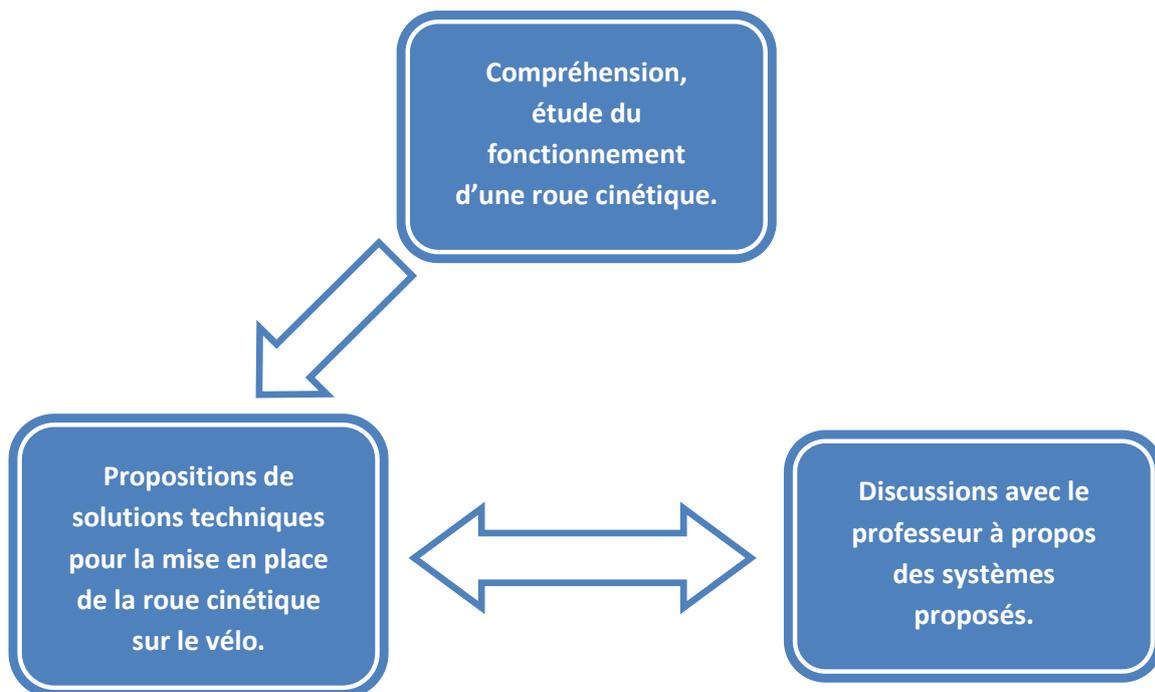
Méthodologie – Organisation du travail

Dès le début du semestre, et du projet de physique (P6), nous nous sommes rendu compte que pour mener à bien ce projet le plus efficacement possible, il allait falloir réfléchir rapidement à une méthodologie ; une organisation de notre travail.

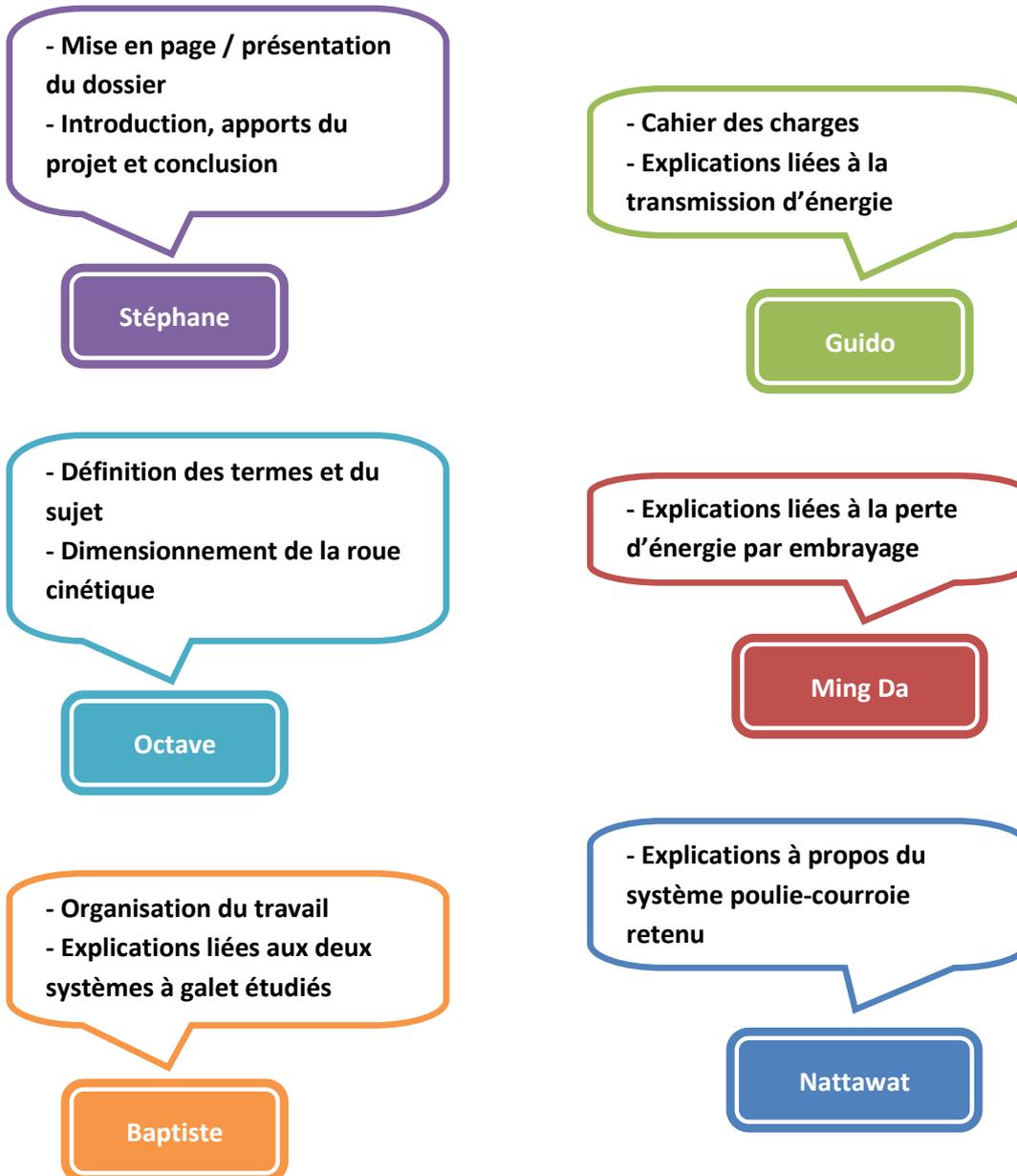
Pour ce faire, nous avons pris en compte tous les aspects « logistiques » du projet, c'est-à-dire : la taille du groupe (6 personnes), la plage horaire réservée qui nous été allouée (1h30), notre temps de discussion (45min) avec M. Vuillamy, professeur en charge de notre groupe, etc...

Ainsi, nous disposions de 45 minutes à chaque créneau horaire pour mettre en commun, entre nous, les informations, les recherches ou encore les calculs, que nous avons pu faire durant notre temps libre, afin d'ensuite pouvoir en discuter avec M. Vuillamy. On pouvait, de cette manière, corriger tout de suite les éventuelles erreurs que nous avons commises, ou tout simplement parler d'un autre point qui nous semblait intéressant à développer avec le professeur.

Au début du projet, nous nous sommes tout d'abord focalisés sur la compréhension du système que nous souhaitions mettre en place. Nous nous sommes donc documentés sur le sujet, notamment au travers d'un projet de P6 précédent, qui nous permis de comprendre le fonctionnement et l'intérêt d'une roue cinétique. Ensuite, nous nous sommes rapidement penchés sur notre sujet en lui-même : nous avons étudié les caractéristiques d'une roue cinétique, sa mise en place sur un vélo mais surtout différents systèmes d'embrayage et de variation de vitesse, ce qui a occupé la majeure partie du temps dédié à notre projet. Lors des dernières séances nous nous sommes attachés à la partie théorique (calculs notamment) qui concernait le dernier système retenu.



La tenue d'un petit journal de bord tout au long du projet nous a permis de faciliter la mise en forme du dossier, qui contient notamment les principales solutions techniques que nous avons pu retenir à un moment donné. La répartition des tâches pour la rédaction du dossier a été faite suivant les affinités de chacun pour l'une ou l'autre des parties que nous avons abordées. Au final, voici comment nous avons procédé :



Travail réalisé et résultats

1 Présentation du sujet et définitions de base

1.1 Présentation générale du sujet

Notre sujet est intitulé : « insertion d'une roue cinétique sur un vélo afin de remplacer le système à batterie ». C'est donc un sujet dans lequel nous avons découvert la notion de roue cinétique et toutes les applications qui y sont liées. Il est important de souligner que nous avons cherché à donner à ce projet une dimension concrète et ce, dès la première séance, en envisageant la création d'un prototype. Nous nous sommes également intéressés de près au modèle théorique afin de ne pas se retrouver bloqué si le prototype ne pouvait être réalisé.

1.2 Buts et objectifs recherchés dans ce projet

1.2.1 Un système mécanique de roue cinétique, une alternative au vélo électrique et leurs batteries

En effet, lors de la première séance nous avons évoqué les atouts et les contraintes liés à l'utilisation d'un vélo-électrique. Il nous est apparu évident que son principal avantage résultait de sa capacité à aider le cycliste dans les phases de redémarrage ou de faux-plat. Cependant, nous avons également pointé ses deux principaux inconvénients qui résident dans la masse du système et la recharge électrique régulière des batteries. Nous avons donc déterminé notre principal objectif au regard de ces observations. Voici comment nous pourrions le formuler : utilisation d'un système purement mécanique reprenant les avantages, tout en éliminant les défauts de la batterie électrique.

1.2.2 Récupérer l'énergie dissipée au freinage

Nous avons donc pensé à l'utilisation d'une roue cinétique, qui serait capable de récupérer l'énergie dissipée lors des phases de freinage. En effet, cette énergie, dissipée sous forme de chaleur par les freins sur un vélo classique, n'était d'aucune utilité... Nous souhaitons désormais la réutiliser.

1.2.3 Utiliser une roue cinétique pour stocker et restituer cette énergie

Cette énergie va donc être stockée sur une roue cinétique (énergie cinétique de rotation) et pourrait être restituée au cycliste à sa demande. Nous aurons donc besoin de dimensionner la roue cinétique en fonction de la quantité d'énergie mise en jeu, mais aussi d'une solution technique permettant la récupération puis le transfert de l'énergie cinétique (système d'embrayage).

1.2.4 Créer un prototype de vélo à roue cinétique

Comme précédemment mentionné, notre objectif final est de parvenir à construire un prototype de vélo à roue cinétique.

Tout d'abord, il apparaît indispensable de définir les principaux termes techniques qui nous seront utiles durant ce projet :

1.3 Qu'est-ce qu'une roue cinétique ?

1.3.1 Définition

Une roue cinétique, ou roue à inertie est un disque en rotation, cette roue récupère puis fournit de l'énergie, cette énergie est stockée sous la forme d'énergie cinétique de rotation (masse en rotation).

1.3.2 Principaux avantages de la roue cinétique

- Son utilisation n'est pas limitée dans le temps (système mécanique), à l'inverse des batteries classiques (recharge du système électrique = contrainte pour l'utilisateur).
- Son utilisation ne rejette aucune substance polluante (système écologique).
- Son utilisation ne nécessite pas d'énergie payante (contrairement à l'électricité).
- L'utilisation et l'efficacité d'une roue cinétique ne dépend pas de la météo et des conditions extérieures (contrairement aux panneaux photovoltaïques, dans le cas d'un vélo qui rechargerait sa batterie grâce à ceux-ci, par exemple)
- Son utilisation est relativement silencieuse.

La principale caractéristique d'une roue cinétique est son énergie cinétique de rotation que l'on calcule de la manière suivante :

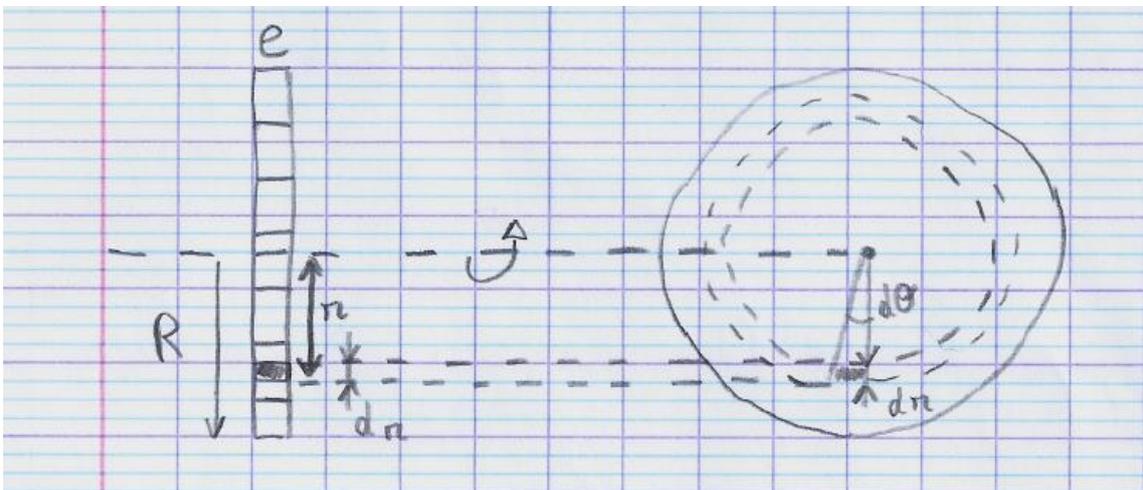
1.3.2.1 Énergie cinétique de rotation.

$$E_c = \frac{1}{2} J \omega^2$$

J = moment d'inertie = $\int dm r^2$

ω = vitesse angulaire en rad.s^{-1}

1.3.2.2 Calcul de J



On a donc :

$$dm = \rho * dr * r d\theta * e$$

$$\text{Et } J = \rho e \iint r^3 dr d\theta$$

Il est important de noter que ce système de récupération d'énergie à roue cinétique a déjà été utilisé dans le fonctionnement des bus et des formules 1. En effet, le système KERS permet de récupérer l'énergie lors du freinage et de la restituer lors des phases d'accélération, ceci permettant une économie de carburant.

Nous aurons donc besoin de dimensionner cette roue cinétique, de la placer à un endroit qui ne mette pas en danger la sécurité de l'utilisateur. En effet, le placement de cette roue sur notre vélo semble poser problème du fait de la limitation spatiale qu'il nous impose.

1.4 Qu'est-ce qu'un dispositif d'embrayage ?

1.4.1 Définition

L'embrayage est un dispositif d'accouplement temporaire entre deux disques : un disque moteur et un disque récepteur. La transmission du mouvement se fait par adhérence entre les deux disques. La mise en contact de ces deux disques se fait progressivement ce qui évite qu'un des éléments du système ne se rompe.

1.4.2 Les différentes phases de fonctionnement de l'embrayage

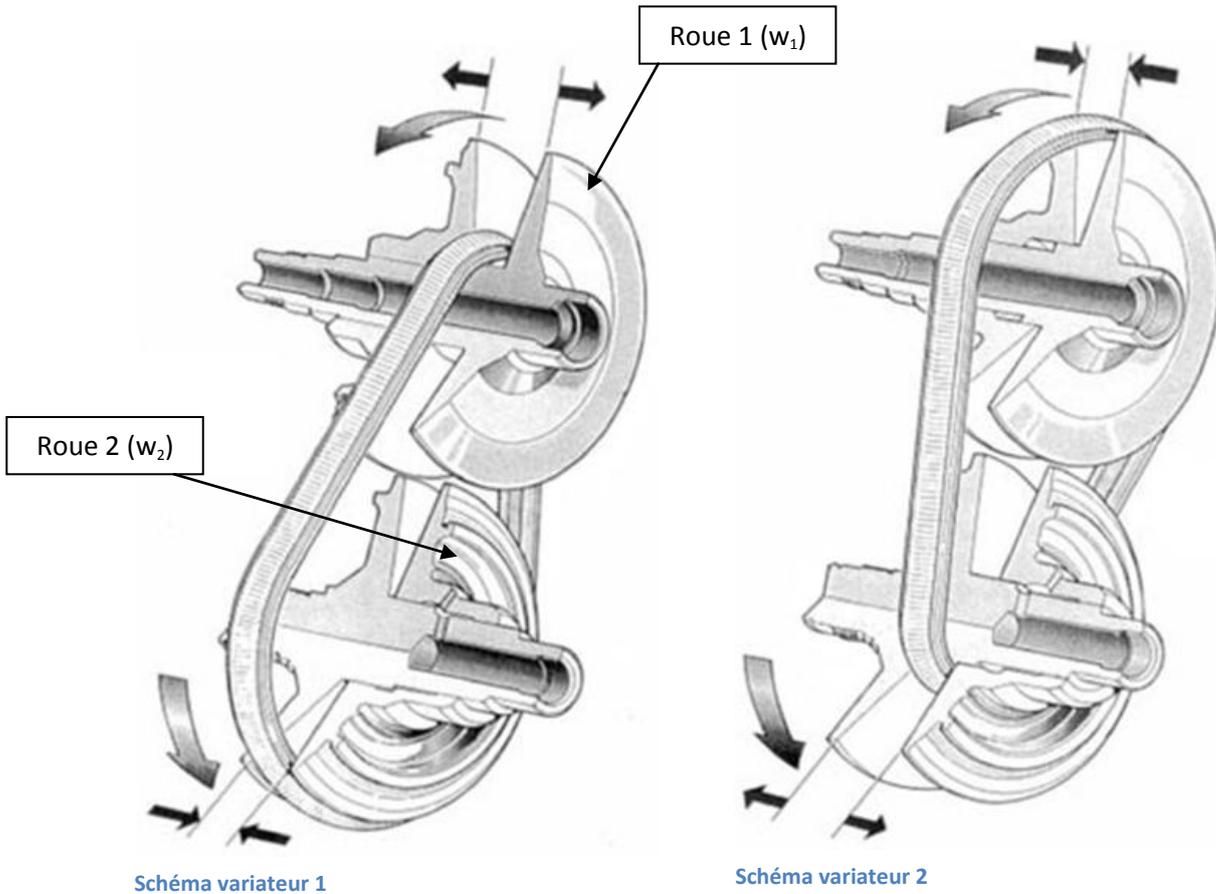
On distingue trois phases de fonctionnement pour un dispositif d'embrayage.

- **En position embrayée (phases de freinage et d'accélération) :** L'embrayage transmet intégralement la puissance fournie (le vélo ralentit, la roue cinétique est liée à la roue arrière).
- **En position débrayée (phase d'arrêt et pas d'énergie sur la roue) :** La transmission est interrompue, les deux roues ne sont plus liées. Le vélo est en roue libre ou arrêté, la roue cinétique peut continuer à tourner sans entraîner les roues.
- **Phase transitoire de glissement (phase d'embrayage progressif) :** Pendant cette phase, la transmission de puissance est progressivement rétablie. La roue d'entrée et celle de sortie ne tournent pas à la même vitesse ; il y a alors glissement et friction entre les roues, donc dissipation d'énergie, sous forme de chaleur. Cette phase est à limiter dans le temps puisqu'elle est responsable de l'usure des roues (friction).

Il est fondamental de souligner que nous voulons obtenir un rendement maximal de transmission de puissance en utilisant ce système d'embrayage. Les calculs seront effectués dans la suite de ce dossier.

1.5 Qu'est-ce qu'un variateur de vitesse ?

1.5.1 Définition



Un variateur de vitesse est un dispositif mécanique permettant de faire varier continûment le rapport de démultiplication d'un moteur. Dans notre cas ce système nous permettrait de démultiplier le rapport de vitesse entre la roue cinétique et la roue arrière du vélo. Nous allons donc essayer d'avoir le rapport le plus grand possible pour maximiser la vitesse de rotation de notre roue cinétique.

1.5.2 Principe de fonctionnement

Le variateur de vitesses est composé de deux poulies dont les gorges sont à écartement variable, reliées par une courroie. En fonction de l'écartement des parois des poulies, la courroie pénètre plus ou moins près du centre, et change le rapport de démultiplication.

Sur le schéma 1 : $w_1 > w_2$

Sur le schéma 2 : $w_1 < w_2$

1.6 Cahier des charges.

1.6.1 Nos besoins

- Roue cinétique : matériau, usinage, placement sur le vélo, dimensionnement, carter de protection.
- Système d'embrayage : comprendre le fonctionnement, choix du système (galet...), placement sur le vélo, démultiplication maximale.
- Système de variateur de vitesse : comprendre le fonctionnement, achat ?

1.6.2 Nos contraintes

- Dimensions du vélo (insertion du système complet préserve la sécurité de l'utilisateur).
- Grandeurs physiques acceptables (vitesse de rotation de la roue cinétique, masse du système, décélération constante du vélo).
- Rendement du système doit être acceptable.
- Prix des investissements techniques abordables.

1.7 Dimensionnement de la roue cinétique

Pour résoudre ce problème nous avons tout d'abord décidé de dimensionner notre système pour avoir une idée des grandeurs physiques mises en jeu, puis de nous intéresser à la solution technique qui nous permettra de mettre en place ce système avec le meilleur rendement possible.

1.7.1 1^e séance

- Roue creuse avec la masse située à l'extérieure.
- Interprétation de la variation d' E_c mises en jeu lors du freinage.
- Hypothèse sur le rendement de notre solution technique.

1.7.2 Paramètres fixes

- Rayon de la roue à inertie. Dimension légèrement inférieure à celle d'une roue normale (elle ne doit pas être en contact avec le sol)
- Rayon du bandage contenant la masse (modèle de la roue creuse).
- Masse du système (vélo + cycliste) = limites physiques du modèle. En effet, l'utilisateur doit être capable de démarrer un vélo d'une masse $< 100\text{kg}$.
- Vitesses du système (initial et final). Nous avons supposé un freinage pendant lequel le cycliste passe de 20 km/h à 10 km/h .

1.7.3 Paramètres variables

- Masse volumique du matériau choisi pour remplir la masse du bandage. Dans notre modèle nous avons choisi l'acier.
- Rendement de notre solution technique = 50 % (grande incertitude puisque nous n'avons pas encore la solution technique).

1.7.4 Calculs effectués

- Energie cinétique du système (initiale et finale)
- Variations d'Ec (énergie potentielle à récupérer lors du freinage du vélo = dissipation de l'E sous forme de chaleur par les freins). Nous avons donc un ordre de grandeur de l'énergie mise en jeu lors du freinage.
- Vitesse de rotation des roues. On voit qu'il sera difficile d'envisager une vitesse de rotation de 11 tr/s !

2 Pistes de recherche et solutions techniques

2.1 Calculs préliminaires concernant un embrayage simple

Pour mettre en œuvre notre système de récupération d'énergie il nous a tout de suite paru indispensable d'utiliser un système d'embrayage. Ce système devait s'intercaler entre la roue du vélo et la roue cinétique afin d'embrayer le système seulement en phase de stockage ou de restitution d'énergie.

Nous nous sommes doutés qu'il y aurait une perte d'énergie par frottement lors de l'embrayage nous avons donc fait quelques calcul avec l'aide de M. Vuillamy.

Voici quelques-uns de ces calculs :

Premièrement on prend le cas simple: 2 disques qui vont être accolés.

Imaginons deux roues D1 et D2, co-axiales, leur moment cinétique est :

$$\vec{P} = J_1 * \vec{\omega}_1 + J_2 * \vec{\omega}_2 \text{ --- (1)}$$

et initialement, leur énergie cinétique est:

$$E_{ci} = \frac{1}{2} * (J_1 * \omega_1^2 + J_2 * \omega_2^2)$$

Lorsque le contact s'effectue entre les deux roues, le moment cinétique va être conservé, et du coup:

$$\vec{P} = (J_1 + J_2) * \vec{\omega}_f \text{ --- (2)}$$

$$E_{cf} = \frac{1}{2} * (J_1 + J_2) * \omega_f^2$$

D'après les formules (1) et (2), on peut en déduire que :

$$\omega_f = \frac{1}{(J_1 + J_2)} * (J_1 * \omega_1 + J_2 * \omega_2)$$

Donc la variation d'énergie cinétique du vélo est :

$$2 * (E_{ci} - E_{cf}) = J_1 * (\omega_1^2 - \omega_f^2) + J_2 * (\omega_2^2 - \omega_f^2)$$

$$\rightarrow J_1 * (\omega_1 + \omega_f)(\omega_1 - \omega_f) + J_2 * (\omega_2 + \omega_f)(\omega_2 - \omega_f)$$

$$\rightarrow J_1 * (\omega_1 + \omega_f)(\omega_1 - \omega_f) + J_2 * (\omega_2 + \omega_f) \left(\frac{J_1}{J_2} (\omega_f - \omega_1) \right)$$

$$\rightarrow [J_1(\omega_1 + \omega_f) - J_2(\omega_2 + \omega_f)] * (\omega_1 - \omega_f)$$

$$\rightarrow J_1 * (\omega_2 - \omega_1)(\omega_1 - \omega_f)$$

On prend maintenant la formule avec le cas réel, il faut établir le mouvement du vélo en fonction des couples qui sont transférés vers la roue cinétique.

Prenons par exemple :

M = masse du vélo \approx 10kg

m = masse de la roue cinétique \approx 10kg

r = rayon roue cinétique \approx 0,2 m

R = rayon roue vélo \approx 0,3 m

r_b = rayon du « bandage » de la roue cinétique \approx 0,03m

On a :

$$J_c = r_{cinetique}^2 * m = (2 * \pi * r_{cinetique} * \pi * r_b^2) * \rho * r_{cinetique}^2$$

Pour la roue simple, on admet que J_c est négligeable devant $(m+M)*R^2$

$$\frac{(d\omega)}{dt} = \frac{c_p}{(M * R^2 + m * r^2)}$$

$$\rightarrow \omega_{roue} = \omega_{roue0} + \frac{(c_p * t)}{(m * R^2 + M * r^2)} \text{ avec } \omega_0 = \frac{-v_0}{R}$$

Pour la roue cinétique:

$$\frac{(d\omega_{cinetique})}{dt} = \frac{-c_p}{J_c} \rightarrow \omega_{cinetique} = \frac{-c_p * t}{J_c} + \omega_0 \text{ d'où } \omega_0 = 0$$

A l'instant où les 2 roues sont en équilibre :

$$\omega_{roue0} + \frac{C_p * t}{(m * R^2 + M * R^2)} = \frac{-C_p * t}{J_c}$$

Du coup :

$$t = \frac{-\omega_{roue0}}{C_p} * \left(\frac{1}{J_c} + \frac{1}{(M * R^2 + m * r^2)} \right)^{-1}$$

Mais dans ce même temps, les roues tournent à la même vitesse et cette vitesse finale est :

$$\omega_{finale} = \frac{-C_p}{J_c} * \left(\frac{-\omega_{roue0}}{C_p} * \left(\frac{1}{J_c} + \frac{1}{(M * R^2 + m * r^2)} \right)^{-1} \right) = \frac{\omega_{roue0}}{J_c} * \left(\frac{1}{J_c} + \frac{1}{(m * r^2 + M * R^2)} \right)^{-1}$$

$$\rightarrow \omega_{finale} = \frac{\omega_{roue0} * (M + m) * R^2}{(J_c + (M + m) * R^2)} \text{----- (3)}$$

L'énergie cinétique de l'ensemble est alors :

$$\begin{aligned} E_{cfinal} &= \frac{1}{2} * (J_c + (m + M) * R^2) * \omega_{cinetique}^2 \\ &= \frac{\frac{1}{2} * \omega_{roue0}^2 * ((m + M) * R^2)^2}{(J_c + (m + M) * R^2)} \text{----- (4)} \end{aligned}$$

A l'état initial, l'énergie est :

$$E_{cini} = \frac{1}{2} * (m + M) * v_0^2 = \frac{1}{2} * (M + m) * R^2 * \omega_{roue0}^2 \text{----- (5)}$$

Et en comparant les équations (4) et (5), on peut obtenir :

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} * \omega_{roue0}^2 * (M + m) * R^2 * \left(1 - \frac{(M + m) * R^2}{(J_c + (M + m) * R^2)} \right)$$

On voit que pour réduire cette perte, il faut que J_c soit le plus faible possible, mais la relation (3) montre alors que si J_c est trop faible, alors $\omega_{final} \rightarrow \omega_{roue0}$: il n'y a pas de freinage. On note également que plus J_c sera élevé et plus il y aura de pertes.

Conclusion

D'après ces calculs on s'est vite rendu compte qu'un tel système (seulement deux roues liées par un embrayage) ne conviendrait pas pour notre vélo. Il n'y aurait, ou pas beaucoup de freinage et donc une très faible récupération d'énergie, ou alors si l'on augmente le freinage (car on veut que le vélo freine le plus rapidement possible), les pertes seraient trop élevées. Nous avons donc abandonné cette idée de transmission simplifiée.

2.2 Transmission d'énergie (CVT, calcul transmission)

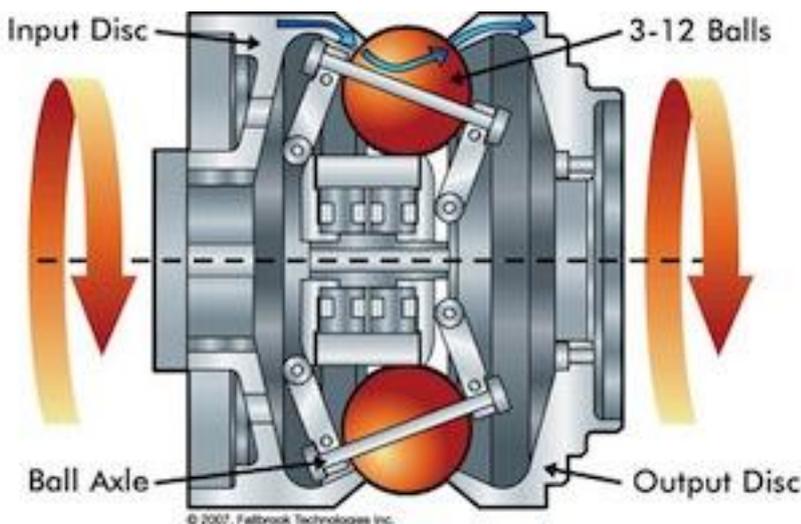
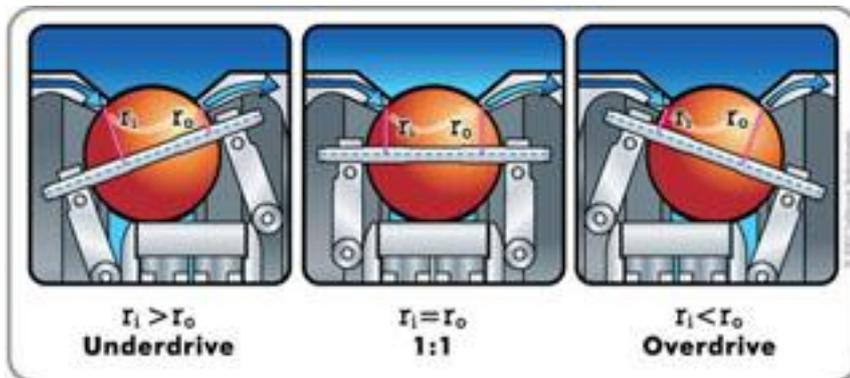
Pour pallier aux problèmes repérés avec l'embrayage simple, il nous paraissait judicieux d'utiliser un système de transmission à rapport variable. Ce système devait s'intercaler entre la roue du vélo et la roue cinétique. En plus de cet élément de transmission un embrayage servirait à accoupler/libérer le système. La nécessité du rapport variable dans la transmission vient du fait que

lors de la phase de récupération d'énergie (phase de freinage sur le vélo) la roue du vélo perd en vitesse de rotation alors que notre but est, comme on l'a déjà vu auparavant, d'accélérer la roue à inertie afin d'y stocker de l'énergie. Pour la phase de restitution d'énergie contenue dans notre roue cinétique ce phénomène s'inverse. On se retrouve donc dans les deux cas avec une source d'énergie cinétique dont la vitesse diminue et le dispositif tournant qui reçoit l'énergie qui doit tourner de plus en plus vite.

Mécaniquement ceci n'est pas facile à mettre en œuvre : pour la phase de freinage par exemple il faudrait un tout petit rapport de démultiplication $\frac{\omega_{roue\ cinétique}}{\omega_{roue\ vélo}}$ au début pour ne pas entrainer la roue cinétique trop brusquement puis lorsque la roue du vélo aura perdu de la vitesse il faudra augmenter la vitesse de rotation de la roue cinétique et donc réussir à avoir un rapport de transmission $\frac{\omega_{roue\ cinétique}}{\omega_{roue\ vélo}}$ très grand. D'après nos premières observations on a vite éliminé l'idée d'utiliser tout système comportant de réelles vitesses comme sur un vélo par exemple. Un tel système n'est pas assez fluide et il n'est pas facile d'en gérer les commandes.

La seule solution nous paraissant possible à mettre en œuvre était donc une transmission à variation continue ou CVT. De telles transmissions peuvent se trouver sur les scooters par exemple. Mais elles sont aussi beaucoup trop lourdes et encombrantes pour le montage sur un vélo comme dans notre cas. Suite à des recherches sur internet on a trouvé un moyeu de vélo qui aurait pu faire office de CVT mais qui s'avérait être assez couteux. Ce moyeu « NuVinci » fabriqué par Fallbrooktech est basée sur un ensemble de billes mobiles en rotation et en inclinaison, positionnées entre 2 disques, entrée et sortie de transmission. C'est l'inclinaison du point de contact entre les billes et les disques qui fait varier le rapport de réduction. Ce système offre ainsi une variation de 360 %, continue, souple et progressive du rapport de réduction.

Voici quelques images pour la compréhension du fonctionnement de ce CVT miniaturisé :



Specifications :

- Hub Colors Silver or Black
- Spoke Configurations 32 or 36 Hole
- Brake Configurations Disc, Rim or Roller
- CVP Weight 2450 grams
- Speed Ratio Infinitely Variable within Ratio Range
- Ratio Range 360% Nominal (0.5 Underdrive to 1.8 Overdrive)
- Shifting Variable Twist Grip, 3/4 Turn
- Drop-out 135mm Wide, Horizontal or Vertical
- Chainline* 49.0 ± 0.5mm
- Sprockets 16-22 Tooth Supported (standard 9-spline, not included) 2.3mm (3/32") only
- Sprocket Ratio 1.8:1 Minimum (16/29, 17/31, 18/33, 19/35, 20/36, 21/38, 22/40, larger chainrings can be used without exception)
- Corrosion Resistance ISO 9227, Neutral Salt

Ce moyeu aurait pu être intégré à notre système mais il n'intègre pas le système d'embrayage et reste trop cher pour pouvoir l'intégrer dans un prototype. De plus, d'après nos premiers calculs sur le dimensionnement de la roue cinétique il nous est apparu clairement que la vitesse de rotation finale de celle-ci serait très grande. Le moyeu ne travaillant que sur une plage de rapports entre 0.5 et 1.8 il nous aurait donc aussi fallu intercaler une transmission à grand rapport entre nos deux roues.

Avantages	Inconvénients
Système miniaturisé	Prix
Variation de vitesse facile à mettre en œuvre (commande fournie)	Embrayage absent
Plage d'utilisation de 360%	Ration de transmission faible : de 0,5 à 1,8

Dans la continuité de ce qui a été fait précédemment ; c'est-à-dire trouver des solutions techniques pour l'embrayage et la variation de vitesse, nous avons introduit la proposition d'une transmission par frottements, à l'aide d'un galet. En effet, cette solution technique a particulièrement retenu notre attention à cause de son faible coût et de son apparente facilité de mise en place.

2.3 Premier système à galet



Nous nous sommes donc intéressés de plus près à cette solution technique. Après avoir réalisé quelques dessins descriptifs du système, et en discutant avec M. Vuillamy de cette solution, nous avons retenu le système ci-dessus.

Ce système se compose donc :

- d'une jante pleine qui permet l'adhérence du galet, ainsi que la variation de la vitesse ;
- d'un galet et de son support qui assure la transmission entre roue du vélo et roue cinétique ;
- d'une roue cinétique située au dessus du porte bagage ;

2.3.1 Comment est réalisée la variation de vitesse ?

La variation de vitesse est réalisée par la montée ou la descente du galet le long du rayon de la roue de vélo : lorsque le galet se trouve en position basse (c.-à-d. proche du moyeu de la roue de vélo), la roue cinétique est entraînée lentement par la roue de vélo. A l'inverse, lorsque le galet se trouve en position haute (c.-à-d. proche du pneu du vélo), la roue cinétique est entraînée rapidement par la roue du vélo. Tout ceci se fait bien sur de manière progressive et continue, et c'est pourquoi cette solution a tout d'abord retenu notre attention.

2.3.2 Problèmes ? Limites ?

Très vite cependant, nous avons cerné les limites de ce système... En premier lieu, la mise en place d'un système d'embrayage n'a pas été étudiée, or notre système se doit d'en comporter un car nous souhaitons récupérer l'énergie de la roue de vélo uniquement lors du freinage et non pas durant toute la durée d'utilisation. En second lieu, la faible taille du galet ne permettait pas de transmettre un couple très important. Et d'autre part, comment faire se déplacer le galet le long du rayon de la roue de vélo ? Cette question est malheureusement restée sans réponse valable... En effet, il aurait fallu trouver un système permettant un grand déplacement du galet (environ 30cm ; rayon de la roue d'un vélo adulte), tout en conservant le contact galet/roue de vélo pour continuer à transmettre l'énergie de la roue de vélo à la roue à inertie.

Pour résumer, voici les avantages et les inconvénients de cette solution :

Avantages	Inconvénients
Faible coût	Embrayage absent
Démultiplication simple (variation de vitesse)	Transmission de couple assez faible
	Déplacement du galet le long du rayon de la roue de vélo compliqué à mettre en place

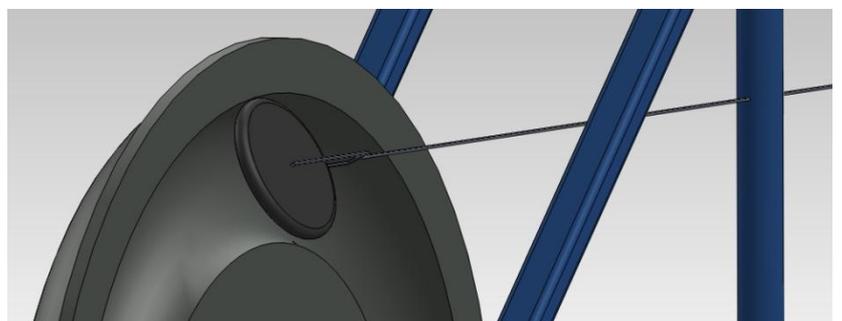
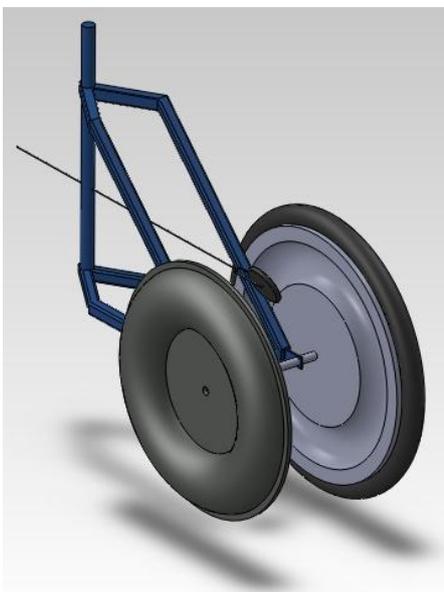
Au vu des limites du premier système à galet, nous nous sommes repenchés sur la question en tenant compte cette fois ci de nos erreurs passées.

2.4 Second système à galet



En réponse à notre premier système à galet obsolète, voici, ci-dessus, ce que nous avons proposé. Plusieurs choses ont changé cette fois ci :

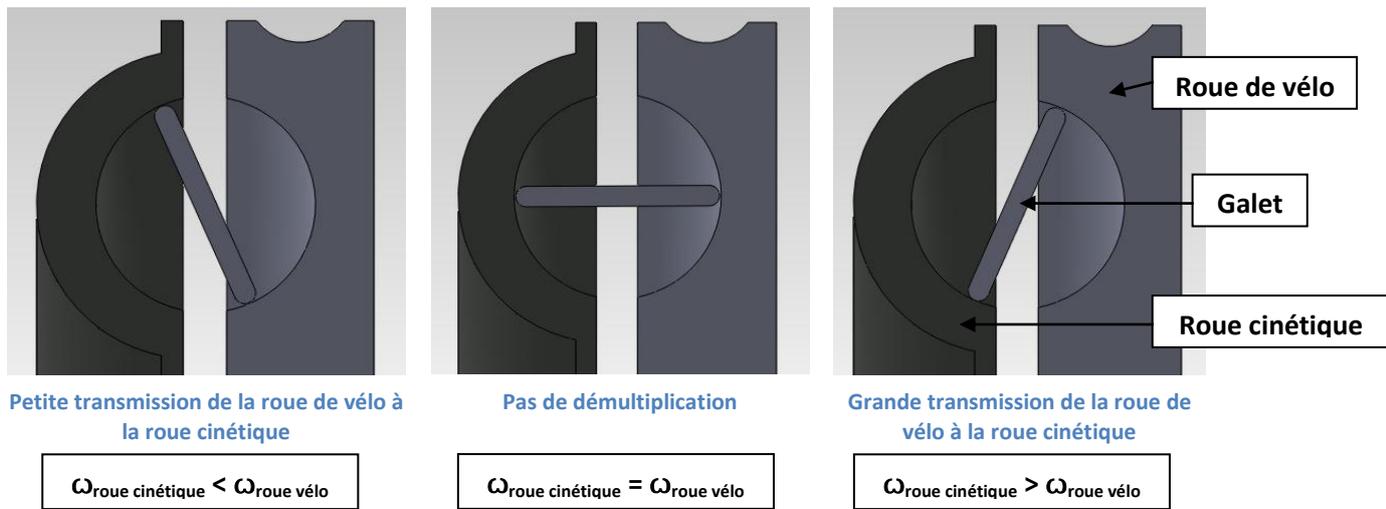
- Galet de forme « plate », de type petite roue en caoutchouc, contact interne avec la roue cinétique et la roue de vélo ;
- Roue cinétique incluse sur l'axe de la roue de vélo, c'est-à-dire à l'intérieur de la fourche ;
- Roue de vélo pleine, creusée du côté du contact avec le galet ;
- Utilisation d'un système de fourche afin d'orienter le galet.



2.4.1 Comment est réalisée la variation de vitesse ?

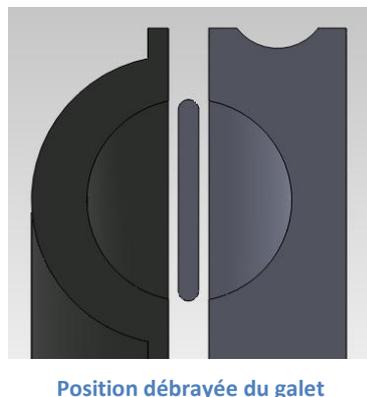
La variation de vitesse est réalisée par inclinaison du galet en contact avec la roue du vélo et la roue cinétique. Cette inclinaison est réglée par l'utilisateur du vélo via une petite tige et un système de fourche. Lorsque le galet est à l'horizontal, il n'y a pas de démultiplication : la vitesse de la roue du vélo est la même que celle sur la roue cinétique (au signe près). En revanche lorsque le galet est incliné, le rapport de transmission est modifié.

Voici un schéma pour expliquer clairement le principe de ce système :



2.4.2 Comment l'embrayage et le débrayage sont-ils réalisés ?

Ce système avait également retenu notre attention pour sa capacité à être embrayable/débrayable assez facilement. En effet, le galet reste embrayé grâce à un ressort qui « plaque » la roue cinétique sur le galet et maintient donc le contact. L'axe de la roue étant pourvu d'un épaulement pour « bloquer » la roue dans une position maximale, c'est-à-dire qu'il y a toujours une distance minimale entre la roue du vélo et la roue cinétique. Pour débrayer il suffit donc de placer le galet en position verticale.



2.4.3 Problèmes ? Limites ?

Le seul problème de ce système est qu'il ne permet pas un rapport de démultiplication suffisamment grand pour être réellement utilisable dans notre cas... En effet, le seul moyen d'augmenter ce rapport, serait d'augmenter le rayon du galet, ce qui n'est possible que dans certaines limites dans notre cas : nous ne pouvons pas dépasser le rayon de la roue du vélo car il faut penser à la présence du moyeu. En conséquence, même en prenant un galet de grande dimension, outre l'encombrement élevé, le rapport de démultiplication ne serait toujours pas satisfaisant...

Petit récapitulatif des avantages et des inconvénients :

Avantages	Inconvénients
Encombrement réduit	Faible rapport de démultiplication
Embrayage/Débrayage plutôt simple	Coût (usinage des deux roues notamment)
Vitesse facilement réglable par l'utilisateur	

2.5 Le système poulie courroie

Après nos différentes propositions de systèmes de transmission qui avaient tous des inconvénients notables nous sommes revenus sur l'idée d'un système de CVT à poulie à gorge mobile comme ce qui se fait sur les scooters.

C'est un système qui a particulièrement retenu notre attention car il réunissait tout ce dont nous avons besoin pour envisager la création d'un prototype :

- Variation de vitesse continue lors de la transmission d'énergie, que ce soit dans le sens roue du vélo vers la roue cinétique ou dans le sens inverse, grâce aux poulies à gorge mobile ;
- Embrayage/débrayage par mise en tension, ou non, de la courroie ;
- Pilotable assez facilement par l'utilisateur (ce système étant déjà utilisé sur les scooters) ;
- Possibilité de récupérer de nombreuses pièces déjà existantes (récupération sur scooter, adaptation : permet de ne pas dépasser un certain budget) ;
- Documentation existante sur le sujet.

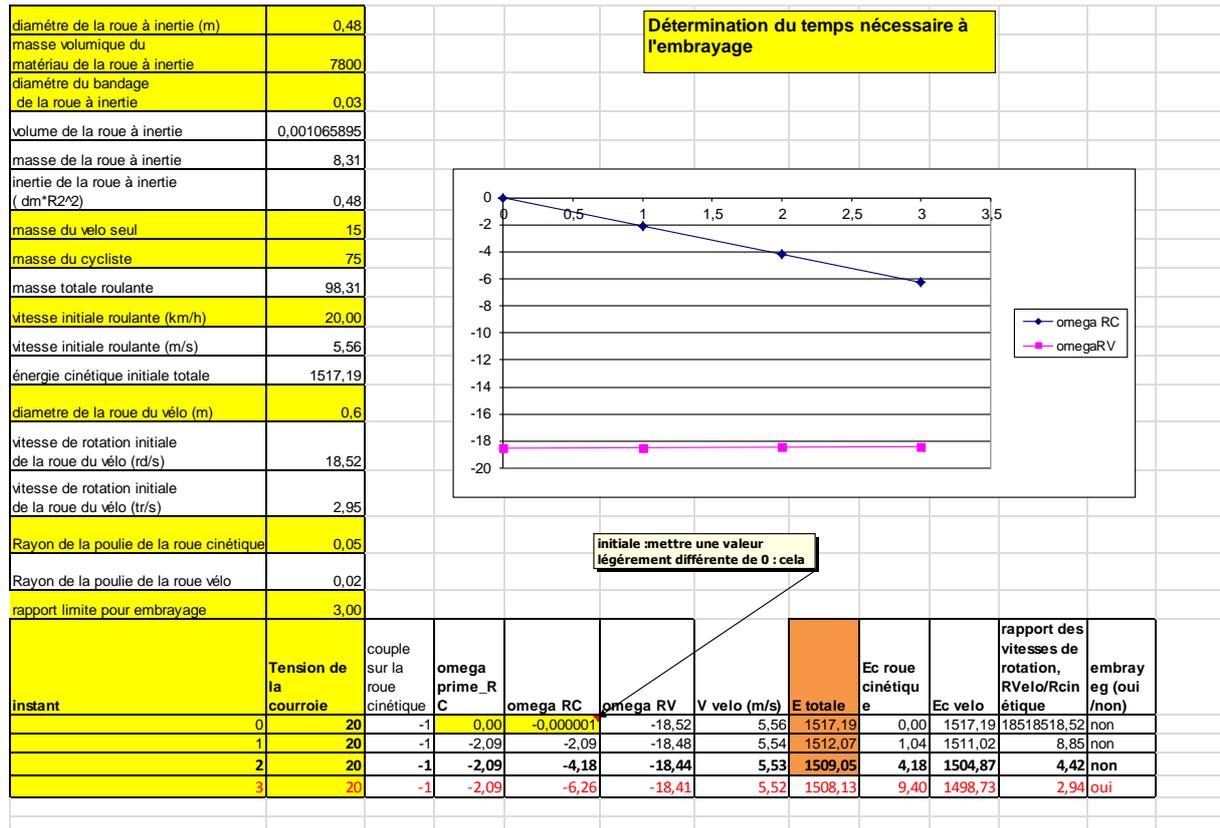
Même si ce système paraissait être la solution à adopter, nous avons néanmoins souhaité vérifier par le calcul quelques éléments pour, un : valider ce système et pouvoir expliquer son choix ; deux : s'assurer qu'il corresponde à ce que nous recherchions, et qu'il remplisse parfaitement son rôle une fois mis en place sur le vélo. Si les calculs sont satisfaisants, il faudrait également se pencher sur l'intégration de ce système (assez conséquent tout de même) sur notre vélo, et notamment vis-à-vis de la sécurité de l'utilisateur.

Nous nous sommes donc intéressés une fois de plus aux pertes qu'engendrerait un tel système mais aussi au temps nécessaire pour effectuer l'embrayage par l'intermédiaire d'un effort de tension sur la courroie du CVT.

La feuille de calcul suivante modélise le freinage d'un vélo équipé du système présenté à la page précédente de 20km/h jusqu'à ce que l'embrayage soit en position embrayé. Les données sont en **jaune** et cette feuille de calcul donne, en fonction du temps, l'état du système, c'est-à-dire :

- la vitesse de rotation de la roue du vélo ;
- la vitesse de rotation de la roue cinétique ;
- l'énergie totale du vélo.

Ainsi, l'énergie initiale du vélo est de 1517 J, et n'est plus que de 1498 J après embrayage.



Dans ces calculs on voit que le freinage s'effectue rapidement (3 secondes) mais ce résultat est directement lié à la tension appliquée sur la courroie. Si l'on applique par exemple un effort de 50N sur la courroie ce temps d'embrayage passera à 2 secondes. Ce qui est plus intéressant dans cette feuille de calcul c'est que l'énergie totale de notre système (Ec velo + Ec roue cinétique) ne diminue pas beaucoup (les données d'énergie dès la fin de l'embrayage ne doivent plus être prises en compte car ce modèle de calcul n'est valable qu'en phase d'embrayage).

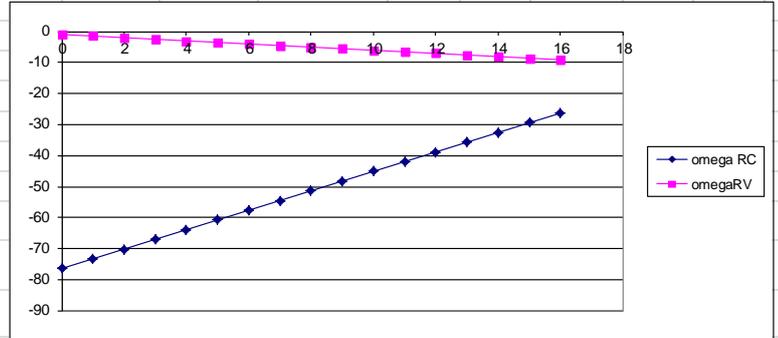
Après cette phase d'embrayage, le système de CVT prendrait le relais et continuerait à accélérer la roue cinétique (dans la limite du rapport de transmission atteignable par ce CVT : estimé à environ 300%).

Mais lors de nos calculs pour la restitution de l'énergie contenue dans la roue cinétique nous nous sommes retrouvés face à un nouveau problème. Voici nos calculs :

diamètre de la roue à inertie (m)	0,48
masse volumique du matériau de la roue à inertie	7800
diamètre du bandage de la roue à inertie	0,03
volume de la roue à inertie	0,001065895
masse de la roue à inertie	8,31
inertie de la roue à inertie ($dm^2R^2/2$)	0,48
masse du velo seul	15
masse du cycliste	75
masse totale roulante	98,31
vitesse initiale roulante (km/h)	1,00
vitesse initiale roulante (m/s)	0,28
énergie cinétique initiale totale	1400,00
diametre de la roue du vélo (m)	0,6
vitesse de rotation initiale de la roue du vélo (rd/s)	0,93
vitesse de rotation initiale de la roue du vélo (tr/s)	0,15
Rayon de la poulie de la roue cinétique	0,03
Rayon de la poulie de la roue vélo	0,09
rapport limite pour embrayage	0,33

Détermination du temps nécessaire à l'embrayage au redémarrage du vélo.

EC embarqué initial	1400
omega rc initiale	76,4651



valeur initiale

instant	Tension de la courroie	couple sur la roue cinétique	omega prime_RC	omega RC	omega RV	V velo (m/s)	E totale	Ec roue cinétique	Ec velo	rapport des vitesses de rotation, RVelo/Rcinétique	embrayeg (oui/non)
0	-50	1,5	3,13	-76,4	-0,93	0,28	1401,41	1397,62	3,79	0,01	non
1	-50	1,5	3,13	-73,27	-1,43	0,43	1294,47	1285,37	9,10	0,02	non
2	-50	1,5	3,13	-70,14	-1,94	0,58	1194,52	1177,81	16,70	0,03	non
3	-50	1,5	3,13	-67,00	-2,45	0,74	1101,55	1074,96	26,59	0,04	non
4	-50	1,5	3,13	-63,87	-2,96	0,89	1015,57	976,80	38,77	0,05	non
5	-50	1,5	3,13	-60,74	-3,47	1,04	936,58	883,35	53,23	0,06	non
6	-50	1,5	3,13	-57,61	-3,98	1,19	864,58	794,59	69,99	0,07	non
7	-50	1,5	3,13	-54,47	-4,49	1,35	799,56	710,53	89,03	0,08	non
8	-50	1,5	3,13	-51,34	-4,99	1,50	741,53	631,17	110,36	0,10	non
9	-50	1,5	3,13	-48,21	-5,50	1,65	690,48	556,50	133,98	0,11	non
10	-50	1,5	3,13	-45,08	-6,01	1,80	646,43	486,54	159,89	0,13	non
11	-50	1,5	3,13	-41,94	-6,52	1,96	609,36	421,27	188,09	0,16	non
12	-50	1,5	3,13	-38,81	-7,03	2,11	579,27	360,70	218,57	0,18	non
13	-50	1,5	3,13	-35,68	-7,54	2,26	556,18	304,83	251,35	0,21	non
14	-50	1,5	3,13	-32,55	-8,05	2,41	540,07	253,66	286,41	0,25	non
15	-50	1,5	3,13	-29,42	-8,55	2,57	530,95	207,19	323,76	0,29	non
16	-50	1,5	3,13	-26,28	-9,06	2,72	528,81	165,41	363,40	0,34	oui

Effort de 50 N sur la courroie

Il est ressorti de suite de ces calculs que le temps d'embrayage serait beaucoup plus long mais comme dans le premier cas il suffit d'augmenter la tension sur la courroie pour faire diminuer ce temps. Par contre, le problème vient du fait que les pertes d'énergie sont dans ce cas très conséquentes (et ceci en appliquant n'importe quelle tension sur la courroie). Comme on le voit sur cette feuille de calcul, on perd durant la phase d'accélération environ 2/3 de l'énergie contenue dans la roue cinétique. En fait le vélo met beaucoup de temps à se mettre en vitesse, et pendant ce temps la roue cinétique tourne à grande vitesse et « dérape » sur la courroie. Il faudrait donc que la roue cinétique tourne moins vite mais dans ce cas on y stockerait moins d'énergie. On se retrouve ici face à un problème que l'on n'a pas réussi à résoudre car dans tous les cas les pertes sont trop grandes (on a essayé de modifier la plupart des données initiales sans réussite). De plus, ces calculs sont théoriques et des pertes supplémentaires dans toute la transmission sont inévitables.

Conclusions

Conclusion de l'aspect technique du projet

Pour conclure sur la partie technique de ce projet, on peut donc dire que nous avons exploré une multitude de pistes pour réaliser le transfert d'énergie entre les deux roues. A savoir : embrayage simple, variateur de vitesse, systèmes à galet. Ces solutions avaient leurs avantages mécaniques et leurs limites respectives, mais globalement nous pouvons dire qu'il s'est avéré extrêmement difficile de déterminer une solution idéale que nous aurions pu appliquer à notre système de roue cinétique. En effet, l'étude détaillée de chaque solution nous a permis de nous confronter à la réalité physique et concrète en prenant en compte tous les paramètres et les contraintes du milieu extérieur. Nous pouvons donc tirer plusieurs conclusions :

- Cela nous a permis d'améliorer nos connaissances en mécanique ;
- Cela nous a obligé à prendre en compte les limites du projet (réalité physique, investissement financier, temps disponible) ;
- Cela nous a limité dans notre projet de création d'un prototype.

Apport personnel pour ce projet

Ming da :

Différent des autres projets que j'ai pu faire durant mes deux dernières années à l'INSA, c'est la première fois que je travaillais dans un groupe où tous les autres membres sont français. Lorsque j'avais un problème, il fallait bien réfléchir avant de le poser afin d'éviter de dire une bêtise. Heureusement, les gens sont très gentils, je pouvais bien suivre notre avancement.

Nous avons réfléchi à plusieurs modèles pour résoudre notre problème de la récupération d'énergie. C'était intéressant d'en discuter avec mes camarades. Bien qu'il y ait eu de nombreuses propositions, nous arrivions toujours à nous mettre d'accord.

En guise de résumé, je dirais que ce projet m'a permis de mieux m'intégrer parmi les français et d'appliquer mes connaissances dans un projet concret.

Octave :

Pour moi, ce projet P6 de physique s'inscrivait dans un 4^e semestre au cours duquel j'ai choisi la thématique EP-MECA. Le sujet de ce projet correspondait donc tout particulièrement à mes attentes et à mes centres d'intérêt scientifiques. Cela m'a donc permis de développer mes connaissances en mécanique (système d'embrayage, variateur de vitesse, roue cinétique). Les modèles théoriques que nous avons dressés m'ont intéressé, même si, à l'origine, j'étais particulièrement motivé par la

construction d'un prototype concret de notre système de roue cinétique. En tant qu'utilisateur quotidien du vélo et étant particulièrement attentif à toutes les améliorations techniques que l'on peut lui apporter, j'étais complètement absorbé par la problématique de notre sujet.

Ce projet m'a également beaucoup apporté sur le plan humain et notamment concernant le travail en groupe que j'aurai à mener dans mon futur travail d'ingénieur. En effet, comme l'ensemble des projets de 2^e année, cela m'a permis de participer à toutes les actions entourant un projet : la répartition des tâches, la concertation et le partage d'idées scientifiques, la communication entre les membres du groupe et l'entre-aide.

Nattawat :

Durant ce projet de physique, j'ai découvert bon nombre de solutions techniques que je ne connaissais pas : j'ai appris ce qu'était une roue cinétique et comment la mettre en œuvre, dans quels domaines elle était déjà utilisée, etc... Ce projet P6 m'a également permis de me familiariser avec certains termes techniques comme l'embrayage et les différents systèmes pour le réaliser.

Le fait de devoir travailler en groupe m'a appris à respecter les échéances, et à communiquer afin de toujours être en contact avec les autres membres du groupe.

Guido :

Ce projet de P6-3 m'a vraiment beaucoup intéressé depuis le début. Premièrement car il s'agit d'un travail à plusieurs et que ce travail en groupe m'a vraiment été bénéfique sur le plan humain. De plus, l'idée de travailler sur un système de récupération d'énergie par un système mécanique s'intègre parfaitement dans mon projet personnel qui est de faire le département mécanique à l'INSA de Rouen. La manière de travailler aussi m'a vraiment plu car elle nous forçait à trouver des solutions toujours différentes et surtout les connaissances de Monsieur Vuillamy nous ont permis d'apprendre une multitude de choses à propos des systèmes mécaniques.

Pour conclure, je dirais que ce projet m'a vraiment apporté sur tous les tableaux.

Stéphane :

J'ai trouvé ce projet très intéressant et je me suis plu à le réaliser. Tout d'abord j'ai apprécié le point de départ du projet, qui est un constat simple « comment éviter de gaspiller de l'énergie (lors du freinage) ? » Ensuite la manière dont on a réalisé le projet était vraiment épanouissante, cette façon de toujours penser à la meilleure solution, et essayer constamment de faire mieux me plaisait.

Enfin, ce projet m'a conforté dans l'idée que j'aime bien les projets, je trouve cette manière d'apprendre très complémentaire et le contact avec les autres est une valeur importante à mes yeux.

Baptiste :

L'intitulé de ce projet de physique m'a tout de suite particulièrement plu lors de la mise en ligne de la liste des sujets, et ce pour plusieurs raisons : tout d'abord, j'ai beaucoup aimé l'idée de pouvoir réfléchir sur quelque chose d'entièrement mécanique, dans le sens où, si nous avons pu créer un prototype, il n'aurait pas eu à dépendre d'une quelconque énergie externe à celle que produit déjà un cycliste. C'est, en effet, quelque chose d'important de nos jours, surtout au vu de la hausse du

prix des énergies...

Ensuite, le fait de devoir réfléchir, puis proposer différentes solutions techniques, vérifier si elles étaient réalisables, en discuter entre nous, m'a réellement ouvert les yeux sur l'importance d'un travail en groupe : pouvoir confronter ses idées à celles des autres a vraiment été une expérience intéressante pour moi.

Conclusion du groupe

Cette EC de P6-3 nous a beaucoup apporté durant ce semestre. Il nous a permis d'avoir un aspect concret et technique de la mécanique en parallèle des cours de mécanique que nous suivions.

Ce projet était l'occasion de travailler en groupe, ce qui s'est très bien passé et nous forme bien pour le métier d'ingénieur car celui-ci est toujours en contact avec une équipe. Donc pour plusieurs raisons, nous nous sommes sentis comme de futurs ingénieurs. De plus le fait d'avoir M. Vuillamy qui travaille à la Snecma, nous a d'autant plus plongé dans le concret.

Ce projet nous a également appris à être toujours plus efficace dans l'organisation autour du projet et comme nous nous entendions tous très bien, choisir celui-ci n'en fut qu'encore plus agréable.

Perspective pour la suite du projet

Ce projet s'inscrit déjà dans une série de projets à propos de la roue à inertie, et comme nous l'avons expliqué précédemment, nous avons constaté que ce type de solution technique n'est pas la plus adaptée pour un vélo à cause de raisons techniques comme les pertes trop importantes, le poids supplémentaire... C'est pourquoi nous pensons que la roue à inertie pourrait s'appliquer d'avantage à des mécanismes plus importants en parallèle d'un moteur.

En ce qui concerne l'évolution du projet, comme nous avons souvent comparé ce système avec celui d'un moteur électrique et d'une batterie, il nous est apparu légitime comme idée de futur projet, de s'intéresser au modèle du vélo électrique.

Bibliographie

Roue cinétique :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Volant_d%27inertie (définition)

<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/reseaux-electriques-de-transport-et-de-repartition-42263210/stockage-inertiel-de-l-energie-d4030/applications-des-volants-d-inertie-sise-d4030v2niv10004.html> (documentation)

Variateur de vitesse :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Variateur_de_vitesse_%28m%C3%A9canique%29
(définition et fonctionnement du variateur)

<http://www.youtube.com/watch?v=kVPjhmTThPo> (vidéo d'explication du CVT)

<http://www.okapi38.com/okapi/divers/Acc-T-max/Principe-variateur.htm>
(fonctionnement du variateur)

<http://www.velotaf.com/information/3058/le-variateur-mecanique-n360-de-nuvinici>

Embrayage :

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Embrayage> (définition)

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1652> (définition et documentation)

Crédits d'illustration

Page de couverture :

"In Case Of Gas Emergency, Break Glass" ; dessin humoristique

Source : http://lolzombie.com/wp-content/uploads/2011/03/bike_gas_cartoon.gif

Page des remerciements :

Dessin humoristique Le Chat de Philippe Geluck

Source : <http://img.over-blog.com/300x300/0/60/85/18/Vacances/2011/chat-velo2.jpg>

Variateur de vitesse :

*Schéma explicatif de la variation de vitesse ; article paru le 14 janvier 2006 dans le Toronto Sun
Autonet Drive*

Source : <http://www.richhelms.ca/richhelms/wp-content/uploads/2006/07/s%20cvt%20pulleys1.jpg>

Variateur de vitesse (CVT) :

Documentation NuVinci

Systemes à galet :

Impressions d'écran des systèmes réalisés sous Solidworks

Annexes

Calculs de dimensionnement de la roue cinétique :

diamètre de la roue à inertie (m)	0,48
masse volumique du matériau de la roue à inertie	7800
diamètre du bandage de la roue à inertie	0,03
volume de la roue à inertie	0,0010659
masse de la roue à inertie	8,31
inertie de la roue à inertie ($dm \cdot R^2$)	0,48
masse du velo seul	15
masse du cycliste	75
masse totale roulante	98,31
vitesse initiale roulante (km/h)	20,00
vitesse initiale roulante (m/s)	5,56
énergie cinétique initiale totale	1517,19
diametre de la roue du vélo (m)	0,6
vitesse de rotation initiale de la roue du vélo (rd/s)	18,52
vitesse de rotation initiale de la roue du vélo (tr/s)	2,95
vitesse finale roulante (km/h)	10,00
vitesse finale roulante (m/s)	2,78
vitesse de rotation finale de la roue du vélo (rd/s)	9,26
vitesse de rotation finale de la roue du vélo (tr/s)	1,47
énergie cinétique finale de translation	379,30
variation d'énergie cinétique	1137,89
vitesse de rotation de la roue à inertie (rd/s)	68,94
vitesse de rotation de la roue à inertie (tr/s)	10,97
vitesse de rotation de la roue à inertie (tr/mn)	658,30
rapport de vitesse de rotation final	7,45

Données en **jaune**.

Documentation NuVinci N360 (CVT) :

 BICYCLE DRIVETRAIN

**MODEL N360
NuVinci® CVP**

The award-winning NuVinci Continuously Variable Planetary (CVP) has revolutionized drivetrain technology with a new class of highly adaptable and scalable continuously variable transmission (CVT). Transmitting mechanical power with spheres instead of gears, the NuVinci CVP has proven to be the perfect replacement for bicycle derailleurs and internally geared hubs.

The next generation NuVinci CVP, the N360, takes the smooth revolution to a new level. Significantly lighter and smaller, the N360 gains shifting improvements that have no industry rival. Shift effort is significantly reduced, even under high pedal forces. In addition, the amount of shift grip rotation is reduced for a more direct feel. The shifter display now includes a rider on the hill, and the new hub interface enables shifting inboard of the frame dropout.

N360-equipped bicycles offer riders the quietest, most comfortable ride ever. No more missed shifts, dropped gears, hesitation, or gear lash. Adjusting ratio to the terrain and the individual's riding style is as effortless as adjusting the volume on a radio. It's the perfect drivetrain for those looking for a smoother, simpler, more enjoyable ride, and for anyone ready to move beyond the limitations of conventional shifting.

Nothing Shifts Like NuVinci.



www.nuvinci.com

N360

Over 30%
Weight Reduction

Shifting Occurs
Inboard of
Frame Dropout

50% Less
Twist Rotation

17% Smaller Diameter

360% Ratio Range

Easier Shifting Under Load

NuVinci N360 Features:

- Design advancements have yielded a CVP that is over 30% lighter and 17% smaller in diameter than its predecessor.
- Easiest, smoothest shifting ever. The rider is always in the optimum ratio, with no hesitation or interruption of power transfer.
- Simple and improved shifter enables easy, continuously variable ratio adjustments. Low to high ratio is now less than one revolution of the grip.
- Improved and lighter design makes the N360 ideal for a wider range of bicycle styles... from comfort/cruiser, commuter, and hybrid bicycles to mountain bikes.
- A perfect match for pedal-assist bicycles with chassis-mounted or front hub motors, eliminating abrupt changes in motor speed and drivetrain lash.
- World class reliability, durability, and quality.

Nothing Shifts Like NuVinci.

The first generation of the NuVinci CVP was an industry-changing innovation: a CVT that also functions like a planetary gear set. Using a set of spheres to transfer power, the CVP ratio is changed by tilting the axes of the spheres with respect to internal input and output traction rings.

The N360 improves on this innovative formula by further capitalizing on the principles of NuVinci technology. Nominal ratio range is now 360%, and the number of spheres has been reduced from eight to six. The revolutionary N360 is over 30% lighter than the previous design, with a 17% smaller overall diameter.

The shifting experience has always been a key selling point of the NuVinci CVP, and the advances of the N360 make the smoothest shifting bicycle drivetrain even smoother. A redesigned shifter and its unique NuVinci "inchworm" display now include a rider that intuitively conveys how the system functions (uphill indicates lower ratio; downhill indicates higher ratio). Shift effort under pedal torque is even better than before, so riders can shift at any time, in practically any condition. Controller twist rotation from low to high ratio is reduced 50%, allowing easier and faster shifting. Finally, the hub interface of the NuVinci CVP is now housed inboard of the frame drop-out for better protection and elegant appearance.

The result is a drivetrain that offers a smooth, seamless and continuous transition to any ratio within its range, maximizing overall rider / bicycle efficiency. This total control provides an even smoother ride that is unlike any other drivetrain!

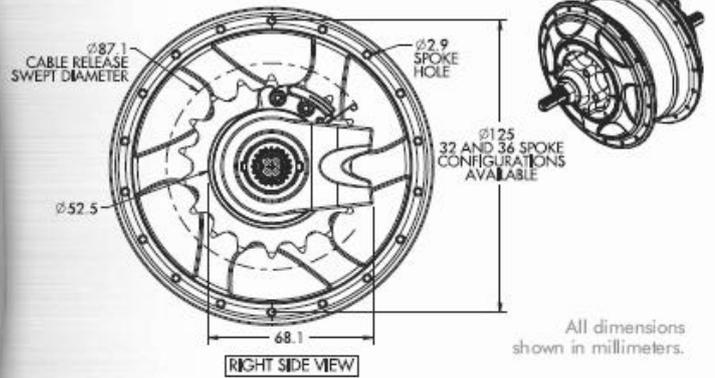
Specifications

Hub Colors	Silver or Black
Spoke Configurations	32 or 36 Hole
Brake Configurations	Disc, Rim or Roller
CVP Weight	2450 grams
Speed Ratio	Infinitely Variable within Ratio Range
Ratio Range	360% Nominal (0.5 Underdrive to 1.8 Overdrive)
Shifting	Variable Twist Grip, 3/4 Turn
Drop-out	135mm Wide, Horizontal or Vertical
Chainline*	49.0 ± 0.5mm
Sprockets (standard 9-spline, not included)	16-22 Tooth Supported 2.3mm (3/32") only
Sprocket Ratio	1.8:1 Minimum (larger chainrings can be used without exception)
Corrosion Resistance	ISO 9227, Neutral Salt Spray, 384 Hours

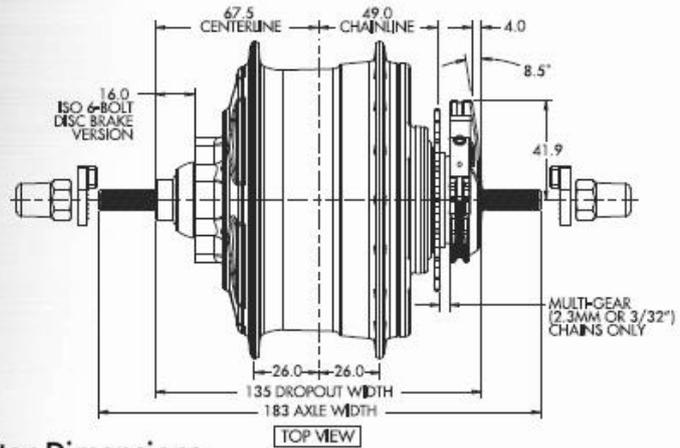
* Contact Fallbrook for belt drive compatibility.

www.nuvinci.com

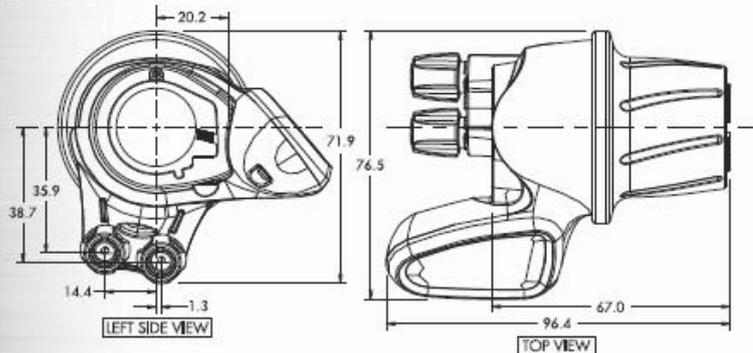
CVP Dimensions



All dimensions shown in millimeters.



Shifter Dimensions



Fallbrook Technologies Inc.

505 Cypress Creek Road, Suite C
Cedar Park, TX 78613
Tel: +1 (888) NuVinci (688-4624)
Tel: +1 (512) 279-6200
Fax: +1 (512) 267-0159
support@nuvinci.com

In Europe

Amsterdam, Holland
europe@nuvinci.com

For additional information, please visit our web site or contact us at:
info@nuvinci.com

www.nuvinci.com

