

Application pour un Véhicule Motorisé

Arnaud Sivert

IUT Génie Electrique & Informatique Industriel de Soissons

★ CAHIER DES CHARGES :

OBJECTIF :

Réaliser un véhicule à faible consommation énergétique !

C'est une démarche qui s'inscrit logiquement dans la politique actuelle de transition énergétique pour la course à la préservation de la planète, et ce en minimisation la consommation de CO₂ dans notre mobilité.

Le "mini" cahier des charges de ce véhicule se définit en 4 points simples :

- Le véhicule doit transporter **une personne de 80 kg** avec **15 kg de bagage** (volume de 20 litre) sur la route.
- Le véhicule devra peser entre **15 et 25 kg à vide**.
- La **vitesse maximale sera de 50 km/h**, avec une **autonomie de 200 km**.
- Les dimensions du véhicule seront de **2 m de long**, une **largeur de 0,8 m** et une **hauteur de 1 à 1,5 m**.

★ ETUDE DE PROJET :

COMMENT GERER SON PROJET ?

Avoir une méthodologie !

Proposition du planning des "choses à faire" :

- Faire un **audit** (expertise sur l'existant, le besoin, les bénéfices, le retour sur investissement...)
- Faire un **bilan de la technologie** (projet utopique ? étude de faisabilité ?)
- Connaître les normes, les homologations et les études d'ergonomiques (confort d'utilisation, design...)
- Faire un **schéma fonctionnel** entre les entrées et les sorties, modélisation...
- **Faire une estimation du temps** pour: recevoir les pièces, faire le prototypage, faire des essais, mettre en place l'industrialisation et la commercialisation...)

- Trouver le financement, les médias permettant la promotion du produit, voire le moyen de créer le besoin...
- Réaliser un **prototype**, faire des essais, modéliser le système pour l'améliorer (étude de qualité et fiabilité...)
- Lancer l'industrialisation, la vente, la rentabilité...
- Faire l'étude du **recyclage** et de son impact sur l'environnement...

Ces recherches sont récursives. Elles s'enchainent donc étapes par étapes et chaque étape franchie vient compléter les autres.

Il faut bien évidemment essayer de commencer par se poser les bonnes questions, mais ne surtout pas oublier que l'important est de leur trouver des réponses !!!

Vous n'avez pas toutes les réponses ? Rien de grave, le prototypage et les essais vont vous permettre de résoudre progressivement les énigmes.

Le souci est qu'elles vont à leur tour vous amener à vous poser autres questions !

★ PRÉPARATION :

EN INTRODUCTION :

Avant de réaliser un véhicule électrique, voici quelques exemples de question à se poser :

- Quelle sera la **masse du véhicule** ?
- Quelle masse devra-t-il transporter ?
- Sur quel **type de voie** ?
- Quelle sera le volume de matériel et la masse à embarquer ?
- Quelle **vitesse maximale** ce véhicule devra-t-il atteindre ? (conditionne la puissance du moteur),
- Quel devra être le temps d'**accélération minimal** ? (pour dimensionner la puissance du variateur et du moteur).
- Quelle sera la **distance de freinage** pour la vitesse maximale ?
- Quel sera l'objectif d'**autonomie** du véhicule ? (pour fixer la capacité énergétique de la batterie).
- Quelle sera la **consommation** énergétique pour parcourir 100 km ?
- Quel est le **budget** maximal ?
- Quel temps de recharge maximum de l'accumulateur est-on prêt à accepter ? (pour dimensionner le chargeur et choisir la batterie).

Trouver le compromis idéal n'est pas une chose facile, car tous ces éléments du cahier des charges sont liés.

Par exemple, si vous voulez aller plus vite alors la puissance motrice sera plus importante, donc le moteur sera plus lourd.

Il faudra alors utiliser davantage de capacité énergétique pour votre batterie, voire des technologies plus performantes et votre budget en subira les conséquences.

L'ENERGIE ET LES RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTS NIVEAUX UNITES :

Quelle est la définition de l'énergie et ses unités ?

Quelle est l'énergie pouvant être tirées d'un litre d'essence, de diesel, d'alcool à 90%, d'1 kg de sucre, et d'une baguette de pain de 250 g ?

Quelle est la puissance approximative que peut fournir un homme, un cheval, un 50 cm³, 125 cm³, un moteur 2.0D 4 cylindres ?

LES EQUATIONS ENTRE L'ENERGIE ET LA PUISSANCE :

Donner l'équation entre l'énergie et la puissance, puis l'équation de la puissance mécanique et électrique ?

LA PUISSANCE APPROXIMATIVE :

Quelle est la puissance approximative que peut fournir un homme, un cheval, un 50 cm³, 125 cm³, un moteur 2.0D 4 cylindres ?

PUISSANCE, CAPACITE THERMIQUE ET ENERGIE DEPENSEE :

Quelle est la puissance nécessaire pour augmenter la température d'un litre d'eau de 25 °C à 100 °C en 5 minutes ?

Sachant que la capacité thermique est de 4,18 J.kg⁻¹.K⁻¹, en déduire l'énergie dépensée en Wh.

LES PRINCIPALES RESSOURCES ENERGETIQUES :

Donner les principales ressources énergétiques ?

LES DIFFERENTS TYPES D'ACTIONNEURS :

Donner les différents types d'actionneurs, et donner l'ordre de grandeur de leur puissance massique en fonction de leur masse ?

LES DIFFERENTS TYPES D'ACTIONNEURS :

Donner les différents types d'actionneurs, et donner l'ordre de grandeur de leur puissance massique en fonction de leur masse ?

LA DEFINITION DE L'EFFICACITE :

Donner la définition de l'efficacité de transformation de l'énergie ou de la puissance ?

★ **QUESTIONNAIRE :**

Dans cette partie nous allons aborder les problèmes de fond essentiels à la bonne mise en place de notre projet de véhicule électrique.

Nous ferons des rappels sur des concepts et des résultats de base nécessaires pour aborder une telle réalisation.

Cette partie pédagogique s'articule autour d'une trentaine de remarques et/ou questions auxquelles il faudra soit consacrer un certain temps de réflexion pour dimensionner efficacement notre système, soit essayer d'y répondre le plus précisément possible en piochant des informations dans d'autres endroits tels que les cours de physique, d'électricité etc...

1) LES DIFFERENTES FORCES RESISTANTES D'UN VEHICULE :

Donner les différentes forces résistantes d'un véhicule.

Deux liens utiles :

IUT en ligne : "Le vélo électrique"

(<http://public.iutenligne.net/etudes-et-realisations/sivert/veloelec/>)

Le Forum du Vélorizontal

(<http://velorizontal.bbfr.net/t15952-choix-kit-moteurs-roues-3000w-pour-chemin-prive-circuit-ferme>)

2) LA PUISSANCE RESISTIVE EN FONCTION DE LA VITESSE :

Donner l'équation de la puissance de la force résistante en fonction de la vitesse en $m.s^{-1}$
(Pour simplifier, on négligera la vitesse du vent...)

3) LA PUISSANCE RESISTIVE EN FONCTION DE LA VITESSE (KM/H) :

A partir des unités du tableau suivant, retrouver les équations de la puissance en fonction de la vitesse.

Type de véhicule	$K_{aero}(W/(km.h^{-1})^3)$	$K_f (W/km.h^{-1})$	0% sur du plat	5% en montée	5% en descente
Vélo droit 12kg	0.0066	7			
Vélo couché 12kg	0.004	5			
Tricycle caréné 32kg	0.002	2			

4) PUISSANCE POUR ROULER A 50 KM/H EN FONCTION DE LA MASSE TOTALE ET DE LA PENTE :

Quelle est la puissance pour rouler à 50 km/h avec une masse de 80 kg pilote + 13 kg de motorisation + 15 kg de bagage + masse du véhicule) puis remplir le tableau suivant :

Type de véhicule	$K_{aero}(W/(km.h^{-1})^3)$	$K_f (W/km.h^{-1})$	0% sur du plat	5% en montée	5% en descente
Vélo droit 12kg	0.0066	7			
Vélo couché 12kg	0.004	5			
Tricycle caréné 32kg	0.002	2			

5) AUTONOMIE AVEC UNE CONSOMMATION D'ENERGIE DE 1440 WH :

Quelle sera l'autonomie d'un vélo couché pour une consommation d'énergie de 1440 Wh, sur du plat et roulant à 50 km/h sans pédaler ?

- En pédalant avec une puissance musculaire de 250 W, quelle sera la nouvelle autonomie ?
- Le pédalage est-il intéressant et pertinent ?

6) COUT POUR PARCOURIR 100 KM SANS PEDALER :

Sachant que le prix de l'électricité domestique en 2013 est de 0.12€/kWh :

- Déterminer le coût pour parcourir 100 km sans pédaler avec le vélo couché dont la consommation est de 750 W à 50 km/h sur piste plane.

7) CONVERSION D'ENERGIE :

Sachant que le rendement musculaire est de 25 % :

- Quelle sera l'énergie en Wh dépensée par le cycliste qui vient de parcourir 100 km en fournissant 250 W. (convertir cette énergie en nombre de baguettes de pain et en prix)

8) RECHARGER LA BATTERIE :

Peut-on rouler à 50 km/h et recharger la batterie avec un courant de 5 A, en vélo couché avec une batterie de 72 V ?

- Déterminer la puissance du cycliste pour justifier cette question.

9) DIFFERENTES TECHNOLOGIES DE BATTERIES :

Quels sont les avantages et les inconvénients des différentes technologies de batteries en quelques phrases ?

10) TENSION, PUISSANCE & COURANT : VELO COUCHE :

Dans le cas d'un vélo couché roulant à 50 km/h équipé d'une batterie dont la tension est de 50 V pour une puissance de 750 W :

- Quel courant devra fournir la batterie ?
- Si la batterie a une tension de 75 V, quel sera le nouveau courant fourni par la batterie
- Quel sont les avantages et les inconvénients d'avoir une tension importante de batterie

11) CAPACITE ENERGETIQUE, TAUX DE CHARGE ET POIDS :

Nous choisirons une tension de 72 V en Lipofer (3.3 V nominal par élément de la marque A123), combien faut-il d'éléments ?

- Déterminer la capacité énergétique en (Ah) pour une énergie de 1440 Wh.
- Déterminer le poids de l'accumulateur sachant que chaque élément pèse 0.5 kg.
- Quel est le taux de charge et de décharge admissible par l'accumulateur Lipofer en général ?
- Cet accumulateur est-il compatible avec un moteur de 3000 W et un chargeur 20 A ?

12) LES MOTEURS ELECTRIQUES :

Quelles sont les différentes technologies de moteur électrique ?

- A quoi correspond l'indice de protection d'un matériel électrique ?
- Que veut dire IP55 ?

13) BATTERIE DE 20 AH & CHARGEUR DE 5 A :

Si l'accumulateur est initialement complètement déchargé :

- En combien de temps sera chargée la batterie de 20 Ah avec un chargeur de 5 A ?
- Quels sont les critères pour arrêter la charge d'une batterie ?
- Quel sera le courant absorbé sur la prise 220 V : si le facteur de puissance est de 0.8 et le rendement de 90% ?

Pour un taux de charge de 1C donc 20 A, quel sera le nouveau courant absorbé sur la prise 220 V ?

14) PROTECTION DES CABLES ET DU MATERIEL ELECTRIQUE :

Quelle devra être la section des câbles entre la batterie et le moto-variateur de 3 kW/72 V

- A quoi sert un disjoncteur ou un fusible ? Quelle devra être le fusible de la batterie ?
- Quelle sera la résistivité d'un câble de 2 m avec une section 4 mm² ?
- En déduire la chute de tension pour un courant de 40 A.

15) LES NORMES FRANÇAISES :

Quelles sont les normes françaises pour les cycles motorisés (vélos, 50 cm³) ?

- Quelles sont les normes et les puissances lumineuses pour la signalisation des véhicules (phare avant de voiture, clignotant, feux arrière, feux de position, dans la boîte à lampe d'une voiture...) ?
- Quelles sont les normes aux niveaux du freinage ?

16) DISTANCE DE FREINAGE & CONSERVATION DE L'ENERGIE :

En utilisant le principe de conservation de l'énergie cinétique, déduire l'expression littérales de la distance de freinage en fonction de la masse, de la vitesse et de la force de freinage.

- Sachant qu'avec 2 freins à disques de diamètre D=160 mm la force de freinage peut atteindre $F_{\text{frein}} = 550 \text{ N}$, calculer la distance de freinage pour :
 - une masse totale M=120 kg et une vitesse initiale $v_0=50 \text{ km/h}$.
- Calculer la décélération et le temps de freinage.
- Comment est transformée l'énergie cinétique lors du freinage mécanique ?

17) LA REPARTITION DU FREINAGE AVANT ET ARRIERE SUR UN CYCLE :

Quelle est sur un cycle la répartition des forces de freinage à l'avant et à l'arrière ?

18) ET SI L'ON AUGMENTE LA MASSE DU VEHICULE :

Si l'on augmente la masse du véhicule :

- Quelle sera l'interaction sur la distance de freinage mécanique ?
- Quelle sera la relation entre consommation et masse du véhicule ?

Lien utile :

Le forum du Vélorizantal

(<http://velorizantal.bbfr.net/t17956-velomobile-electric-leiba-x-stream-iut-aisne>)

19) SYSTEME DE CONTROLE DES BATTERIES D'ACCUMULATEURS :

Qu'est ce qu'un « BMS » ?

Quelles sont les caractéristiques principales d'un BMS ?

20) REINJECTER L'ENERGIE DE FREINAGE DANS LA BATTERIE :

Il est possible de freiner électriquement et de réinjecter cette énergie (cinétique) dans la batterie. Nous devons prendre en compte que :

- Le freinage **ne pourra pas** dépasser la puissance du moteur (3000 W).
- La batterie n'accepte qu'une charge de 1C.

Quel sera le courant à limiter dans le variateur lors d'une récupération d'énergie « régénération » ?

Quelle sera la distance de freinage à 50 km/h avec un véhicule de masse $M=120$ kg en charge avec 1440 W de régénération ?

Dans le cas où les batteries Lipofer sont pleines, est-il quand même possible de récupérer l'énergie ?

21) DESEQUILIBRAGE DES ELEMENTS DE L'ACCUMULATEUR :

A quoi correspond un déséquilibre des éléments de l'accumulateur ?

- Comment peut-on rééquilibrer les éléments ?
- De quoi faut-il protéger les batteries Lipofer ?

22) SIGNALISATION LUMINEUSE DU VEHICULE :

Comment faire une signalisation lumineuse du véhicule à faible consommation ?

Lien utile :

Eclairage à LED pour vélo sur le Forum du Vélorizontal
(<http://velorizonta.bbfr.net/t16874-eclairage-a-del-pour-velo-led-light-for-bike?highlight=eclairage>)

- Quelles sont les unités pour la puissance lumineuse ?
- Donner des ordres de grandeurs de la lumière en lux
- Quelle est la relation entre les unités lumen et lux ?
- Quel est le composant lumineux qui a la meilleure efficacité lumineuse ?
- Donner l'ordre de grandeur.
- Donner la tension de seuil d'une LED rouge et d'une LED blanche ?

Nous voulons réaliser un éclairage arrière de 2,4 W avec des LEDs blanches de 0,4 W + filtre rouge :

- Combien de LEDs faut-il mettre en série pour un accumulateur de 12 V "Li-Ion 18650" (2,2 Ah) prix 30€ ?
- Combien faudra-t-il mettre de LEDs en parallèle ?
- Quelle sera l'autonomie de l'éclairage arrière avec la batterie choisie ?
- Calculer la résistance de limitation du courant dans les LEDs.
- Calculer la puissance perdue dans cette résistance par rapport à la puissance fournie aux LEDs
- Calculer le rendement.

L'efficacité lumineuse d'une ampoule s'exprime en Lumens par Watt (lm/W)

23) UN FEU ARRIERE QUI AUGMENTE SON INTENSITE LUMINEUSE LORS DU FREINAGE :

Comment réaliser un feu arrière qui augmente son intensité lumineuse lors du freinage ?

24) CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES POUR CHOISIR DES LED POUR UN ECLAIRAGE :

Quelles sont les caractéristiques essentielles au choix des LEDs d'éclairage (signalisation) ?

25) DIFFICULTE DE DEMARRAGE A VELO (PHASE D'ACCELERATION) :

Pourquoi est-il difficile de démarrer à vélo (phase d'accélération) ?

- Quelle est l'équation qui régit la dynamique d'un véhicule ?

- Avec une puissance de 3000 W au démarrage, quelle sera l'accélération et le temps mis pour atteindre 50 km/h ?

26) PUISSANCE EQUIVALENTE THERMIQUE :

De nombreux variateurs peuvent fournir une puissance maximale de 3000 W pendant 5 minutes, puis 1000 W en continu sans être détruits.

On considère le cycle suivant :

1. une puissance de 3000 W liée à l'accélération ; durée 15 secondes
2. une période de 750 W liée à la charge ; durée 4 minutes
3. un freinage de 1500 W ; 15 secondes
4. un temps de repos de 30s

Soit un cycle d'une durée totale de 5 minutes.

- Quelle sera la puissance thermique équivalente ?
- Le variateur convient-il ?

27) PUISSANCE POUR LE VELO COUCHE A 50 KM/H AVEC UNE PENTE DE 5% :

Rappeler la puissance pour le vélo couché pour une pente de 5 % à 50 km/h.

- Est-ce que ce véhicule peut monter cette pente pendant 5 minutes ?
- Serait-il possible d'utiliser le variateur précédent ?
- Que faudrait-il faire pour ne pas détruire le variateur ? Quel moyen utiliser ?

28) MESURE DE LA DISTANCE ET LA VITESSE DU VELO :

Comment est mesurée la distance parcourue et la vitesse du vélo (expliquer le processus) ?

Comment est mesuré le courant de la batterie (expliquer le processus) ?

Comment sont mesurées la puissance et l'énergie fournies par la batterie ?

Quelle devra être la période d'échantillonnage ?

29) LES DIFFERENTS TYPES D'ASSISTANCE POSSIBLES A PARTIR D'UN PEDALIER :

Il existe différents types de variateurs (régulation de vitesse avec poignée d'accélération ou à assistance).

Citer les différents types d'assistance possibles à partir d'un pédalier.

30) RECHARGER DES BATTERIES DE 1440 WH ?

Il est possible de mettre un panneau solaire Semiflex sur le véhicule électrique.

Ces panneaux solaires photovoltaïques ont un un coût de 1500 € :

- une surface de 1.5 m² (3 m*0.56 m)
- puissance de 300 W
- rendement d'environ de 20%
- tension de 50 V
- masse de 6kg.
- en plus il faut un chargeur de 300 € (0.2 kg) qui permet de charger les batteries.

Avec les 1800 € (1500 € + 300 €), combien de km est-il possible de faire ?

Sachant que le prix de la consommation du vélo couché est de 0.17 €/ 100 km à 50 km/h de moyenne. (retour sur investissement ?)

Dans le cas d'une installation sur le toit, il est possible d'utiliser des panneaux plus lourds permettant de résister aux intempéries (18 kg), pour 1.5 m² à 200 € pour 200 W avec onduleur de 1200 € pour 2000 W / 240 V.

Lien utile :

Exemple de panneau solaire

(<http://www.ev-power.eu/Solar-Panels/Solar-panel-SCHUTTEN-Poly-135Wp-36-cells-MPPT-18V.html>)

Combien faut-il de surface de panneaux pour être compatible avec l'onduleur ?

Combien va couter l'installation ?

Quelle sera l'énergie récupérée en 1 mois sachant que le cas le plus favorable la puissance maximale sera pendant 7 heures par jour ?

En combien de mois se fera le retour sur investissement pour un rachat de l'électricité par ERDF à 0.12 €/ kWh ?

31) ORDRE DE GRANDEUR DU PRIX TOTAL D'UN CYCLE MOTORISE :

Donner l'ordre de grandeur du prix total d'un cycle motorisé en remplissant le tableau suivant :

Puissance du vehicule	Moteur+vario+poignée d'acceleration+capteur+frein à interrupteur	Batterie 1440W.H	Instrumentation	Total
Crystalyte 3000Wnominal, (72V,40A)	400+250+20+20+40€ Chargeur modelisme 10A : 200€	72V/20A.H 600€ sans BMS	120 €	
nine continent 1500W max, 750Wnominal	300+95+20+20+40€ Chargeur 4A : 90€	48V/20A.H 885€ 72V/10A.H 859€		

32) LES VEHICULES ACTUELS PEU GOURMANTS EN ENERGIE :

Quels sont les véhicules actuels qui consomment peu d'énergie ?

★ CONCLUSION :

SYNTHESE RAPIDE DU TD

Trouver le compromis idéal n'est pas une chose facile puisque tous les éléments du cahier des charges sont liés.

Par exemple, si vous voulez aller plus vite alors la puissance motrice sera plus importante, donc le moteur sera plus lourd.

Il faudra alors utiliser davantage de capacité énergétique pour votre batterie, voire des technologies plus performantes et votre budget en subira les conséquences.

Le rêve de l'autosuffisance énergétique est difficile à atteindre tout comme celui de réaliser des véhicules à faibles impacts énergétique sur l'environnement.

Conclusion : il faut faire des mathématiques et de la physique faire tous ces choix et pour en premier lieu pouvoir modéliser un système.

Il faut toujours peser le pour et le contre en fonction des technologies existences, des normes, du prix du système, du retour à l'investissement etc...

Concernant la partie électricité, il reste encore au moins 7 points à ajouter aux 32 précédents :

- 33) Connaître la différence entre la commande d'un moteur à puissance constante ou à force constante.
- 34) Comment monter un accumulateur et faire des choix de connectiques ?
- 35) Savoir paramétrer un variateur.
- 36) Savoir paramétrer un chargeur.
- 37) Monter un clignotant.
- 38) Paramétrer une instrumentation.
- 39) Réaliser une poignée d'accélération par PWM (MLI) en 4-20 mA...

Il y a encore bien d'autres questions que nous pouvons nous poser dans les domaines du génie mécanique :

- 40) Faire le choix de la transmission (réducteur de vitesse) ; compromis obligatoire entre l'accélération et la vitesse maximale.
- 41) La tenue de route en fonction du pneu, mais aussi du centre de gravité.
- 42) Les différentes technologies de matériaux pour diminuer la masse du véhicule.
- 43) Minimiser le rayon de braquage.
- 44) Optimiser le réglage des amortisseurs.

Mais cela est une autre histoire !!!!...