



## **RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ANNEE 2**

### **TITRE**

**Etude et dimensionnement de la motorisation d'une voiture électrique**

**Réalisé par :**

**BEN SLIMENE Alaya  
OURIMI Wajdi**

**Classe :2GE C**

**Classe :2GE C**

**Encadré par Mr :**

**BEN HMIDA Faycal**

# REMERCIEMENT

---

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements pour les personnes qui ont contribué à sa réalisation.*

*Nous tenons d'abord à remercier notre encadreur monsieur BEN HMIDA FAYCAL pour nous avoir encadrées tout au long du projet, pour ses conseils précieux, son encouragement et pour l'expérience enrichissante qu'il nous a accordé pour ce projet.*

*Nous tenons à remercier toute l'équipe pédagogique de l'ENSIT et les intervenants professionnels responsables de la formation de génie électrique.*

*Nos profonds remerciements pour les membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.*

## Liste des figures

*Figure 1 : Thomas Parker assis dans une voiture électrique, qui pourrait être la première au monde*

*Figure 2 : En 1891, l'américain William Morrison construit la première vraie voiture électrique.*

*Figure 3 : Des Taxis électriques New-York (1897)*

*Figure 4 : la famille des véhicules électrifiés*

*Figure 5 : Architecture de la chaîne de traction. Électrique classique.*

*Figure 6: Architecture de la chaîne de traction bi-mode (électrique-thermique).*

*Figure 7: Architecture de la chaîne de traction hybride.*

*Figure 8 : Schéma des composantes d'un véhicule électrique et fonctionnement*

*Figure 9 : comparaison de densité d'énergie pour les différentes technologies de batteries*

*Figure 10 : Orca*

*Figure 11 : MOTEUR Brushless 5KW*

*Figure 12: battery management system*

*Figure 13 Plage de fonctionnement de la batterie*

*Figure 14 :48V 120Ah rechargeable Li-ion Batterie*

*Figure 15 BLDC Motor controller*

*Figure 16: câblage électrique moteur brushless*

*Figure 17: Câble de programmation USB*

*Figure 18: HPC Controller Wiring Harness*

*Figure 19: Accélérateur à pied*

## Sommaire

REMERCIEMENT .....	1
Liste des figures.....	2
Introduction général .....	4
Nomenclature .....	5
Mots clés:.....	6
Histoire des véhicules électriques .....	7
<b>Chapitre I :</b> .....	10
I. Introduction .....	Erreur ! Signet non défini.
II. Différents types de traction dans les voitures électriques .....	12
<b>1.Traction électrique classique</b> .....	12
<b>2.Traction bi-mode</b> .....	12
<b>3.Traction hybride</b> .....	13
III. Véhicule Electrique (EV: Electric Véhicule) .....	14
<b>1.Définition d'un véhicule Electrique</b> .....	14
2.Composants du véhicule électrique .....	Erreur ! Signet non défini.
<b>2.1 : Le moteur électrique</b> .....	16
<b>2.1.1 : Définition et principe de fonctionnement</b> .....	16
<b>2.1.2Caractéristiques de moteur</b> .....	19
<b>2.1.3 : Comparaison entre Moteur à courant continu et moteur à courant alternatif</b> .....	20
2.2 : Les batteries .....	21
2.2.1 : Définition et principe de fonctionnement .....	21
<b>2.2.2 : Technologies des batteries</b> .....	21
<b>2.2.3 : Caractéristiques des batteries</b> .....	22
<b>2.2.4 : Comparaison des différents types des batteries</b> .....	23
<b>Chapitre II</b> .....	24
<b>Éco-marathon Shell</b> .....	25
I. Dimensionnement moteur .....	26
II. Dimensionnement de la batterie .....	32
Conclusion générale.....	40

# Introduction général

---

La recherche d'une meilleure qualité de vie et le souci du respect de l'environnement constituent les facteurs essentiels de motivation pour le développement du véhicule électrique. La voiture électrique, avec moins de bruit et moins d'émission est d'échappement, apparaît comme une nouvelle façon de se déplacer en milieu urbain. Son utilisation est déjà rendue obligatoire pour certains déplacements en milieu fermé ou en atmosphère explosive (usines, zones formées accueillant du public. Industries sensibles. Les récentes avancées dans le domaine du stockage de l'énergie électrique, apportant une augmentation de l'autonomie de ce véhicule innovant avec des performances accrues, devrait permettre son développement – sous réserve de faciliter sa commercialisation à l'aide de mesures incitatives émanant des autorités publiques

# Nomenclature

---

MCC : Moteur à courant continu

MCCAP : moteur à courant continu a aimant permanent

MI : moteur à induction

PID : proportionnel intégrateur dérivateur

MLI : Modulation de Largeur d'Impulsion

PWM : Pulsed Width Modulation

FOC : field-oriented control

SVPWM : Space Vector Pulse Width Modulation

## Mots clés:

---

Modélisation, commande, identification, optimisation, batterie, véhicule électrique ; Véhicule électrique, Véhicule écologique, Utilitaire électrique, Utilitaire écologique, Transport électrique, Transport écologique, Utilitaire silencieux, Electrique, Ecologique, Énergie et transport écologiques, Transport écologique, Véhicule utilitaire écologique, Véhicules utilitaires électriques  
Electrique, Ecologique

# Histoire des véhicules électriques

---

- **1832-1839 : la première personne à avoir inventé une voiture électrique est Robert Anderson**



*Figure 8 : Thomas Parker assis dans une voiture électrique, qui pourrait être la première au monde (1884).*

- **1835 : première véhicule électrique, est construit par Thomas Davenport**
- **1838 : Un modèle similaire roule jusqu'à 6 km/h par Robert Anderson**
- **1859 : invention de la batterie rechargeable au plomb acide par Gaston Plante**
- **1881 : amélioration de la batterie rechargeable par Camille Faure.**
- **1884 : voiture électrique conduite par Thomas Parker**
- **1891 : la première vraie voiture électrique par William Morrison**



*Figure 9 : En 1891, l'américain William Morrison construit la première vraie voiture électrique.*

- **1896 : le Riker électrique d'Andrew Riker remporte une course automobile**



- **1897 : les premiers taxis électriques dans les rues de new York**



*Figure 10 :Des Taxis électriques New-York (1897)*

- **1899 : en Belgique, une société construit la première auto électrique à dépasser les 100 km/h (elle atteindra les 105 km/h). L'auto était pilotée par le belge Camille Jenatzy , et munie de pneus Michelin.**
- **1900 : Plus du tiers des voitures en circulation sont électriques, le reste étant des autos à essence et à vapeur.**
- **1902 : la Phaéton de Wood pouvait rouler 29 kilomètres à une vitesse de 22.5 km/h**
- **1912 : la production des véhicules électriques est à son crête, mais, l'introduction de la Ford Model T à essence en 1908 va commencer à se faire sentir.**
- **1920 : certains facteurs mèneront au déclin de la voiture électrique. On peut citer leur faible autonomie, leur vitesse trop basse, leur manque de puissance, la disponibilité du pétrole, et leur prix deux fois plus élevé que les Ford à essence.**
- **1966 : le congrès américain recommande la construction de véhicules électriques pour réduire la pollution de l'air.**
- **1974 : la Vanguard-Sebring CitiCar, qui ressemble beaucoup à une voiturette électrique de Golf fait son apparition au Electric Véhicule Symposium de Washington, D.C. Elle peut rouler sur 64 kilomètres à une vitesse de 48 km/h.**
- **1988 : le président de GM Roger Smith lance un fond de recherche pour développer une nouvelle voiture électrique qui deviendra la EV1.**
- **1990 : l'Etat de la Californie vote le Zero Emission Vehicle (ZEV), un plan qui prévoit que 2% des véhicules devront avoir zéro émission polluante en 1998 (puis 10% d'entre eux pour 2003) ☐ Entre 1996 et 1998 GM va produire 1117 EV1, dont 800 d'entre elles en location avec un contrat de 3 ans.**
- **En 1997 : Toyota lance la Prius, la première voiture hybride à être commercialisée en série. 18 000 exemplaires seront vendus au Japon la première année.**

- De 1997 à 2000 : de nombreux constructeurs lancent des modèles électriques hybrides: la Honda EV Plus, la G.M. EV1, le Ford Ranger pickup EV, Nissan Altra EV, Chevy S-10 EV et le Toyota RAV4 EV.
- A partir de 2000 la voiture électrique va re-mourir à nouveau.
- 2002 : G.M. et DaimlerChrysler poursuivent le California Air Resources Board (CARB) pour faire annuler la loi Zero Emission Vehicle (ZEV) de 1990.
- 2006 : Chris Paine sort un documentaire intitulé Who Killed the Electric Car ? qui analyse la montée en puissance et la mort de la voiture électrique à la fin des années 90.
- 2007 : il y avait encore 100 000 véhicules électriques en circulation aux Etats-Unis.
- 2009, Vincent Bolloré annonce la sortie pour 2010 en location mensuelle à 330 euros de la Pininfarina Blue Car.

# **Chapitre I :**

## **Généralités sur les véhicules**

### **électriques**

## I. Introduction

Les véhicules électriques font partie de la famille des véhicules électrifiés qui désigne l'ensemble des véhicules hybrides, hybrides rechargeables et électriques. L'intérieur de ces familles, plusieurs sous-catégories peuvent exister. Pour les véhicules hybrides notamment, plusieurs types d'hybridation existent et plusieurs degrés d'hybridation sont possibles, qui dépendent du ratio entre la puissance thermique et la puissance électrique embarqués dans le véhicule afin de le propulser. Les véhicules électriques représentent le dernier maillon de la chaîne de l'électrification du véhicule.

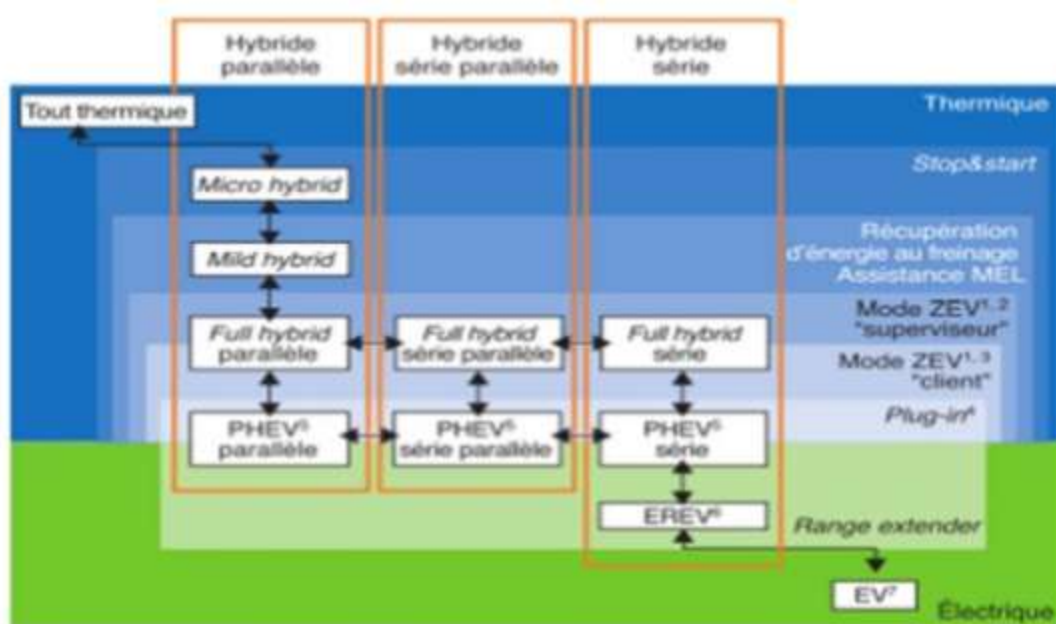


Figure 11 : la famille des véhicules électrifiés

Nous n'allons pas se contenter d'expliquer toutes les techniques d'hybridation présentes ci-dessus, mais nous allons faire le focus sur les véhicules tout-électrique (EV: Electric Véhicule) appels encore ZEV (Zéro Emission Véhicule).

## II. Différents types de traction dans les voitures électriques

On peut décomposer les voitures électriques par leur type de traction :

### 1. Traction électrique classique

C'est la solution la plus répandue. Elle est composée d'un groupe de batterie, d'une gestion électronique du courant et d'un moteur électrique. Le montage se fait sur véhicules légers de série, poids lourds, chariots, élévateurs, deux roues...

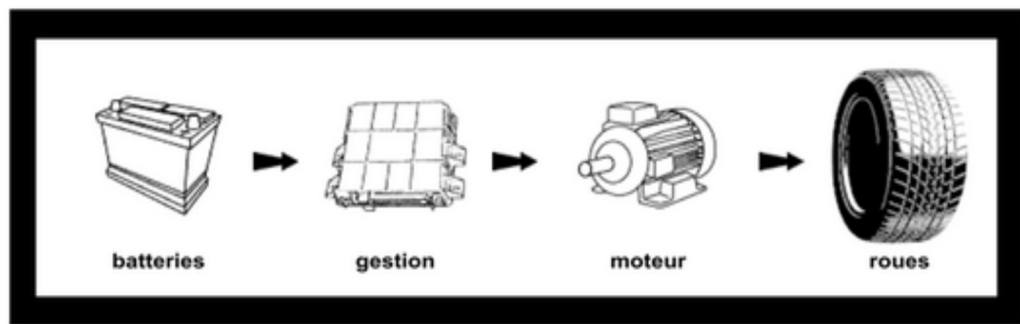


Figure 12 : Architecture de la chaîne de traction. Électrique classique.

### 2. Traction bi-mode

La traction thermique classique est utilisée hors des villes ; la traction électrique classique s'utilise en ville.

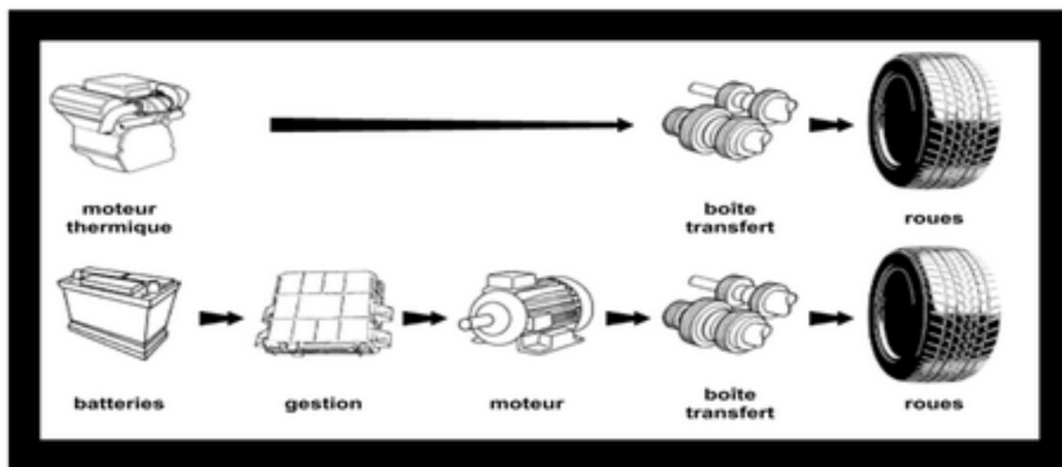
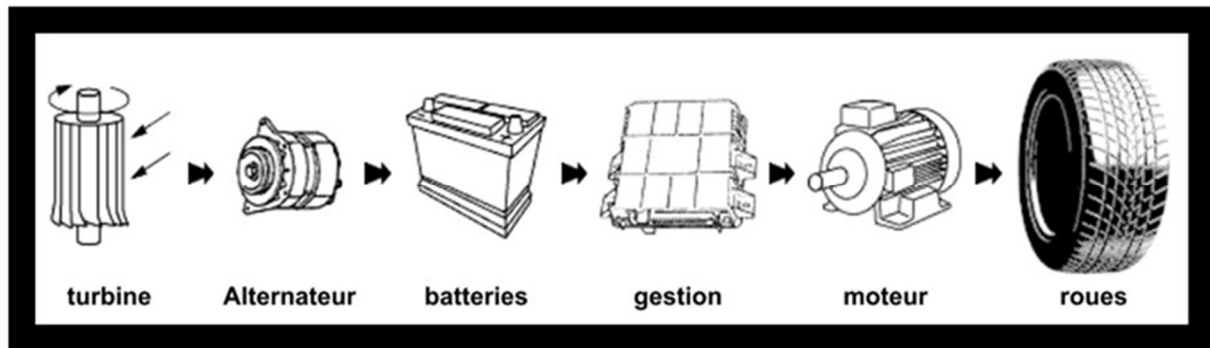


Figure 13: Architecture de la chaîne de traction bi-mode (électrique-thermique).

### 3. Traction hybride

Il s'agit d'un groupe électrogène, entraîné par un moteur thermique ou par une turbine à Gaz. Celui-ci produit du courant, qui recharge en permanence un groupe de batteries. Celles-ci débitent dans un moteur électrique de traction. En site urbain, le groupe est à l'arrêt et on recourt au moteur électrique.



*Figure 14: Architecture de la chaîne de traction hybride.*

### III. Véhicule Electrique (EV: Electric Véhicule)

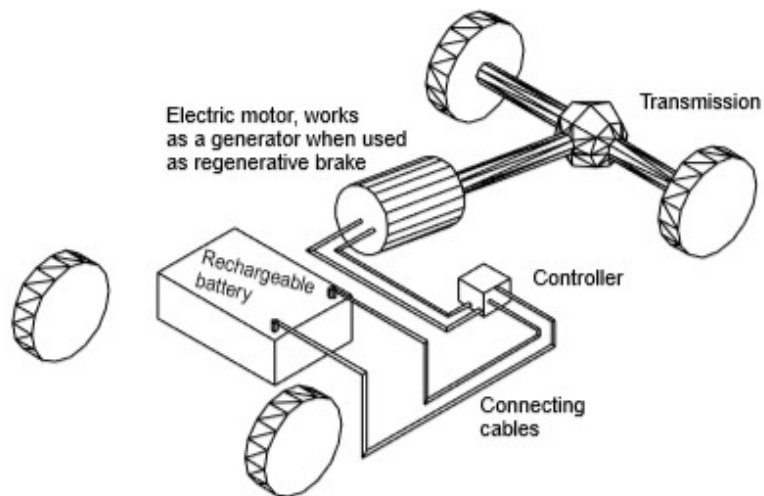
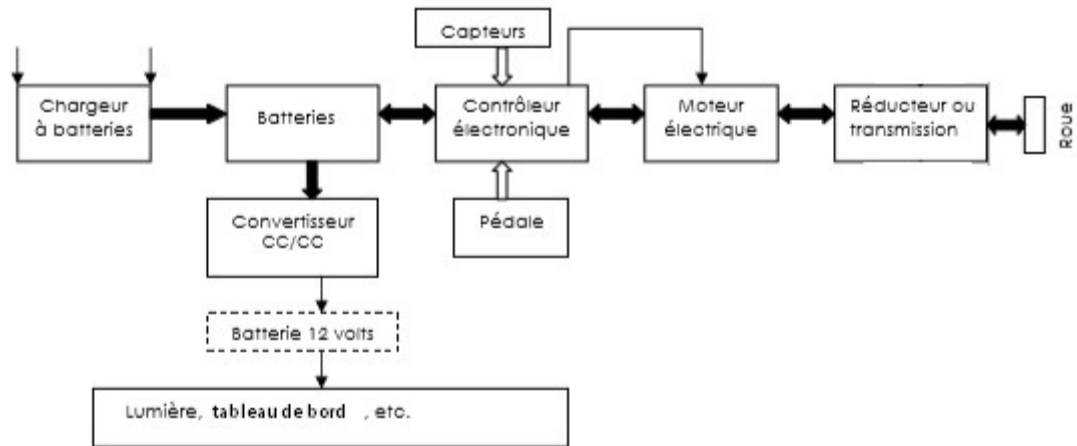
#### 1.Définition d'un véhicule Electrique

Un véhicule électrique est un véhicule dont la propulsion est assurée par un moteur fonctionnant exclusivement à l'énergie électrique. Autrement dit, la force motrice par un moteur est transmise aux roues par un ou plusieurs moteurs électriques selon la solution de transmission retenue. Généralement les moteurs électriques sont alimentés par une batterie d'accumulateurs (appareil qui emmagasine l'énergie électrique fournie par une réaction chimique et le restitue sous forme de courant)

(En anglais BEV pour << Battery Electric Vehicule >>)

Deux éléments essentiels dans un véhicule électrique (VE), une batterie qui joue le rôle d'une source d'énergie primaire et un moteur électrique qui assure la propulsion du véhicule. On note ici, que la batterie doit être chargée à partir d'un dispositif externe pour garantir le fonctionnement du VE. Dans de nombreux cas, la recharge de batterie s'effectue à partir du réseau électrique.

## 2. Composants du véhicule électrique



*Figure 8 : Schéma des composantes d'un véhicule électrique et fonctionnement*



## 2.1 : Le moteur électrique

### 2.1.1 : Définition et principe de fonctionnement

Le moteur électrique est un composant très simple au cœur du véhicule électrique. Il joue sur les forces d'interaction entre un électroaimant et un aimant permanent. L'électroaimant est alimenté par intermittence par l'énergie de la batterie pour mettre en rotation l'aimant. La simplicité de fonctionnement rime également avec un rendement élevé. 90% de l'énergie électrique est restituée en énergie mécanique.

Deux types de moteurs sont principalement utilisés dans les voitures électriques: le moteur à courant continu et le moteur à courant alternatif

De manière spécifique, le moteur électrique de traction doit :

- ✓ Pouvoir tourner et freiner dans les deux sens de rotation ;
- ✓ Posséder un couple important bas régime, ainsi qu'un bon rendement.

Pour ces raisons, et en fonction du type de véhicule fabriqué, nous orientons notre choix sur :

- Le moteur série ;
- Le moteur à excitation séparée ;
- Le moteur Brushless (ou moteur synchrone sans balais) ;
- Le moteur asynchrone.

## Le principe de fonctionnement du moteur à courant continu

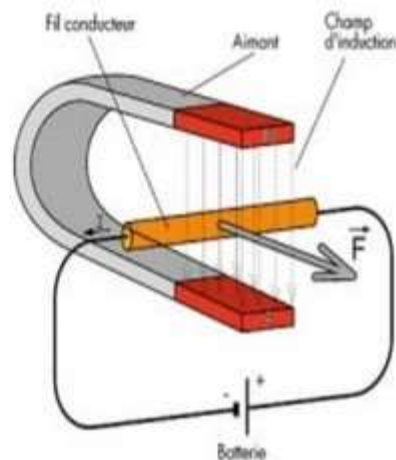
Lorsqu'un conducteur, parcouru par un courant  $\Phi$ , est placé dans un champ d'induction, il est soumis à une force perpendiculaire au conducteur et au champ d'induction  $F$  (loi de Laplace).

Le sens de cette force dépend du sens du courant et de celui du champ.

C'est la force électromagnétique.

- Le fil conducteur est repoussé vers l'extérieur de l'aimant ;
- Si l'on inverse la polarité de la batterie, le fil est attiré vers l'intérieur de l'aimant.

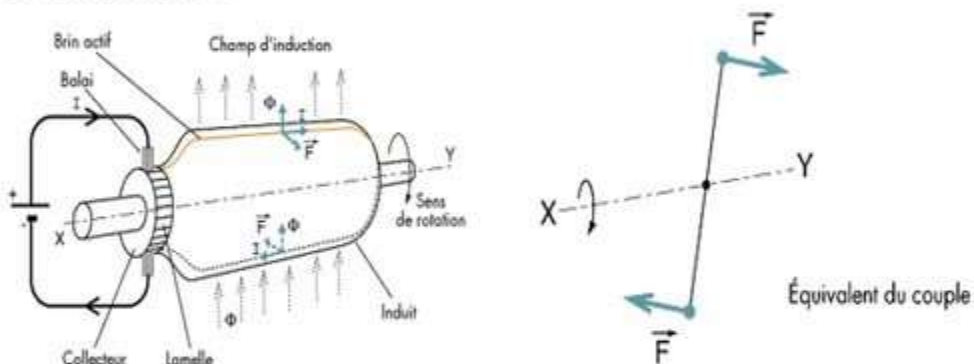
Ces forces d'attraction et de répulsion qu'exercent les aimants et les électros aimants entre eux, permettent à un moteur électrique de fonctionner.



## La construction du moteur à courant continu

Un fil conducteur placé à la périphérie de l'induit\* est appelé brin actif.

La façon de disposer les brins actifs sur l'induit va permettre de créer des forces tangentielles qui vont constituer le couple moteur.



Chaque brin actif est soudé à ses extrémités sur deux lamelles du collecteur.

Le collecteur solidaire de l'induit alimente tour à tour chaque brin actif par l'intermédiaire des balais et des lamelles. Il assure ainsi l'alimentation synchronisée de chaque brin.

Le champ d'induction est produit par un électro-aimant fixe appelé inducteur, ou un aimant permanent.

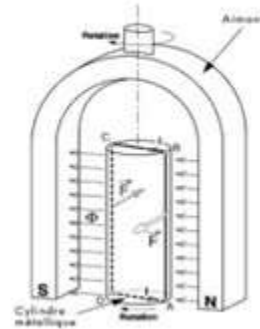
\* L'induit est la partie tournante du moteur électrique appelée ROTOR.

## Le principe de fonctionnement du moteur à courant alternatif

L'aimant tournant produit un champ électromagnétique  $\Phi$  qui traverse un cylindre métallique.

Les génératrices du cylindre placées dans le champ se comportent comme des brins actifs (AB et CD). Elles sont parcourues par un courant  $\Phi$  proportionnel à  $F$  et engendrent des forces perpendiculaires qui constituent le couple.

On constate que le cylindre suit la rotation de l'aimant avec un léger décalage appelé glissement.



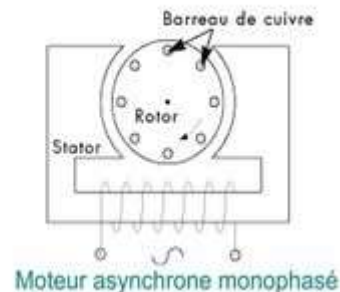
### Construction du moteur asynchrone

L'aimant tournant est remplacé par le stator (électro-aimant alimenté par un courant alternatif).

Dans le rotor métallique, des barreaux de cuivre en circuit fermé sont insérés, pour canaliser les courants induits.

De sorte que le rotor bobiné, le collecteur et les balais sont supprimés.

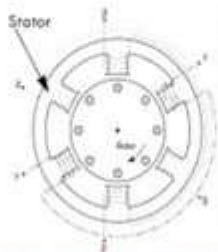
Ce moteur est simple et facile à construire.



Moteur asynchrone monophasé

### Moteur asynchrone triphasé

En disposant trois bobines sur le stator, on réalise le moteur asynchrone triphasé adapté aux grandes puissances et utilisé en traction électrique.



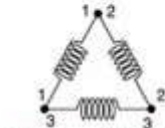
Moteur asynchrone triphasé (principe)

Par combinaisons des connections, on utilise deux possibilités :

- montage étoile ;
- montage triangle.



Montage étoile



Montage triangle

*N.B. : Les moteurs asynchrones ne peuvent pas utiliser un courant continu batterie. Un " système interface " permet de transformer le courant continu en courant alternatif (Il s'appelle l'onduleur).*

## 2.1.2 Caractéristiques de moteur

Les entraînements à moteur constituent la technologie de base des véhicules électriques qui convertissent l'énergie électrique embarquée en un mouvement mécanique souhaité. Pendant ce temps, les machines électriques sont l'élément clé de la technologie d'entraînement par moteur.

Les caractéristiques :

- Densité de couple élevée et densité de puissance élevée
- Large plage de vitesses, couvrant les vitesses de rampement à faible vitesse et les vitesses de croisière élevées
- Haute efficacité sur de larges plages de couple et de vitesse
- Large capacité de fonctionnement à puissance constante
- Capacité de couple élevée pour le lancement électrique et l'escalade
- Capacité de surcharge intermittente élevée pour les dépassements
- Haute fiabilité et robustesse pour l'environnement véhiculaire
- faible bruit acoustique
- Prix raisonnable

### 2.1.3 : Comparaison entre Moteur à courant continu et moteur à courant alternatif

Parameters	Moteur à courant continu	Moteur à courant alternatif
Contrôle de vitesse	Tension, flux	Tension, fréquence
Contrôle de couple	Courant, flux	Courant, fréquence de glissement
Plage de vitesse	4	2
Vitesse maximum	2	5
Puissance massique	2	3
Encombrement	4	5
Rendement	4	5
Recupération freinage	4	2
Facilité de construction	2	5
Refroidissement	2	3
Robustesse	2	5
Bruits	5	5
Simplicité de commande	3	2
Prix	1	2
Pollution	5	5
Entretien	4	5
<b>Total</b>	<b>44</b>	<b>54</b>

Tableau : Comparaison des moteurs utilisés en traction électrique.

**5 = excellent/ 1 = médiocre**

## 2.2 : Les batteries

### 2.2.1 : Définition et principe de fonctionnement

La batterie est un générateur électrochimique qui stocke de l'énergie sous forme chimique et la restitue sous forme électrique.

La batterie électrique de traction est l'organe clé des voitures électriques. Elle influe directement sur la performance et surtout l'autonomie de l'automobile écologique. C'est pour cette raison qu'on parle souvent d'un système ou d'unit de stockage d'énergie.

La fonction réservoir est réalisé par des batteries de technologies diverses. Le principe est toujours le même depuis de nombreuses années, il reste très simple: des cellules d'accumulateur sont connectes et assemble entre elles dans un conteneur tanche : la batterie. Pour obtenir la puissance nécessaire, les batteries sont regroupées dans un ou des packs et réparties dans le véhicule.

De nombreux types d'accumulateurs électrochimiques existent (plomb, cadmium-nickel, lithium...)

### 2.2.2 : Technologies des batteries

6 technologies différentes de batteries sont en compétition pour équiper les véhicules électriques. Cette diversité permet une large palette de choix aux concepteurs:

#### 1. Plomb/Acide-Pb

Ce sont les plus simples de conception et de fabrication. Les processus de production sont bien maitrisés, les industriels les produisant innovent pour les rendre plus performantes face la concurrence des autres technologies. Elles sont lourdes et peu puissantes mais ont pour avantage leur prix.

#### 2. Cadmium-Nickel-Ni-Cd

Deux inconvénients pour ce type d'accumulateur : un effet mémoire qui nécessite des décharges profondes réguliers, et une réglementation européenne contraignante pour les usages du cadmium. Elles sont très durantes, mais actuellement peu utilisées.

### 3. Nickel-Metal Hydrure -Ni-MH

Elles présentent une énergie volumique importante et une faible sensibilité à l'effet mémoire.

### 4. Lithium et dérivés

Plusieurs technologies composent la famille des batteries au Lithium. Elles occupent aujourd'hui une place prédominante sur le marché de l'électronique portable, et sont de plus en plus utilisées dans les véhicules électriques.

Les différentes catégories qui composent la famille des batteries au Lithium sont :

- Lithium-ion (Li-ion)
- Lithium Polymère (Li-Po)
- Lithium-phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)
- Lithium Métal Polymère (LMP)

### 5. Zebra batteries

### 6. Nickel-Zinc –Ni-Zn

## 2.2.3 : Caractéristiques des batteries

Un accumulateur, quelle que soit la technologie utilisée, est pour l'essentiel défini par les paramètres suivants :

- La densité d'énergie massique (ou énergie spécifique), en Wh/kg correspond à la quantité d'énergie stockée par unité de masse d'accumulateur.
- Densité d'énergie volumique, en Wh/l correspond à la quantité d'énergie stockée par unité de volume d'accumulateur.
- Densité de puissance massique, en W/kg, représente la puissance que peut délivrer l'unité de masse d'accumulateur.
- Le nombre de cycles (un cycle correspond à une charge et une décharge), caractérise la durée de vie de l'accumulateur, c'est-à-dire le nombre de fois où il peut restituer le même niveau d'énergie après chaque nouvelle recharge
- Tension nominale dépend du nombre d'éléments.
- La capacité de stockage, notée Q Représente la quantité d'énergie disponible (à ne pas confondre avec la capacité électrique) ; elle s'exprime en Ah.
- Le courant maximal qu'elle peut fournir pendant quelques instants, ou courant de crête en ampères

## 2.2.4 : Comparaison des différents types des batteries

Type	Energie massique en Wh/kg	Energie volumique en Wh/l	Tension d'un élément	Puissance en pointe (massique) en W/kg	Durée de vie (nombre de recharges)	Autodécharge par mois
Plomb/acide	30 - 50	75 - 120	2,25 V	700	400 - 800	5 %
Ni-Cd	45 - 80	80 - 150	1,2 V	?	1 500 - 2 000	> 20 %
Ni-MH	60 - 110	220 - 330	1,2 V	900	800 - 1 000	> 30 %
Ni-Zn	70 - 80	120 - 140	1,65 V	1 000	> 1 000	> 20 %
Na-NiCl <sub>2</sub>	120	180	2,6 V	200	800	→ 100 %
Pile alcaline	80 - 160		1,5 - 1,65V	?	25 à 500	< 0,3 %
Li-ion	90 - 180	220 - 400	3,6 V	1 500	500 - 1 000	2 %
Li-Po	100 - 130	?	3,7 V	250	200 - 300	2 %
Li-PO	120 - 140	190 - 220	3,2 V	800	2 000	5 %
LMP	110	110	2,6 V	320	?	?
Li-Air	1 500 - 2 500	?	3,4 V	200	?	?
Li-ti	50	75	2,4 V	?	6000	?
Ni-Li	935	?	3,49 V	?	?	?

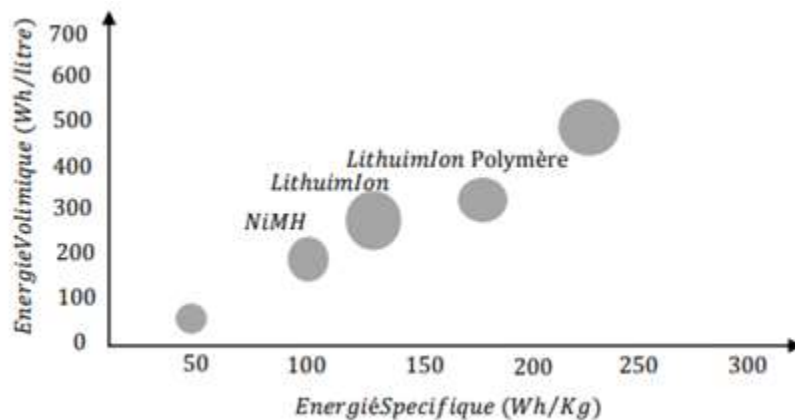


Figure 9 : comparaison de densité d'énergie pour les différentes technologies de batteries



# Chapitre II

## Dimensionnement

## **Éco-marathon Shell**

---

Dans l'objectif de participer à la compétition SHELL ECO-MARATHON on a s'occuper de la partie électrique de la voiture en collaboration avec nos collègues en génie mécanique pour suivre et respecter les détails imposé par SHELL.

L'Éco-marathon Shell est une compétition automobile annuelle mondiale organisée par la compagnie pétrolière Shell dont le but est de parcourir la plus longue distance avec un litre de carburant. Il existe trois Éco-marathon Shell : en Europe, en Asie et sur le continent américain.

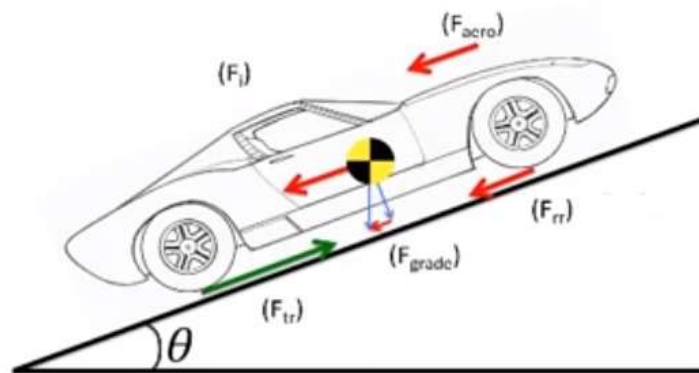
Cette compétition est réservée aux étudiants de tous les niveaux (du collège jusqu'aux grandes écoles) et de tous pays. Les véhicules utilisés sont des prototypes étudiés et construits dans des structures scolaires ou universitaires.

## I. Dimensionnement moteur

La première étape de la modélisation de la performance des véhicules consiste à produire une équation correspondant à « l'effort de traction » requis. C'est la force propulsant le véhicule en avant, transmise au sol par les roues motrices. Considérons un véhicule de masse  $m$ , procédant à une vitesse  $v$ , en montant une pente d'angle  $\theta$ , comme dans la figure. La force qui pousse le véhicule vers l'avant, l'effort de traction, doit permettre:

- de vaincre la résistance au roulement;
- surmonter la traînée aérodynamique;
- fournir la force nécessaire pour vaincre la composante du poids du véhicule agissant en aval de la pente.
- accélérer le véhicule si la vitesse n'est pas constante. Nous examinerons chacune d'elles à tour de rôle.

L'effort total de résistance ( $F_{tr}$ ) à l'avancement que doit vaincre le système de motorisation peut s'écrire sous la forme



$$F_{tr} = F_{aéro} + F_i + F_{rr} + F_{grade}$$

**F<sub>rr</sub>**: la force de résistance au roulement

**F<sub>i</sub>**: force d'inertie

**F<sub>aéro</sub>** : force de résistance aérodynamique (proportionnelle à la masse volumique de l'Aire ( 1.28 kg/m<sup>3</sup> ) )

**F<sub>grade</sub>** : force nécessaire, pour vaincre une pente à p%

**Calcule**

$$F_{aéro} = 1/2 \cdot \rho \cdot C_d \cdot S_f \cdot V^2$$

$$F_i = m_i \cdot \gamma$$

$$F_{rr} = m \cdot g \cdot C_{rr}$$

$$F_{grade} = m \cdot g \cdot p\% = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$$

$$m_i = 1.04 \cdot m$$

$$\gamma = (V_i - V_f) / t$$



*Figure 10 : Orca*

Paramètre	Unités	Description	
$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	Densité de l'air	1,28
$C_d$	-	Coefficient de pénétration dans l'Aire	0.37
$S_f$	m <sup>2</sup>	Section frontale de notre véhicule	2.24
$V$	m/S	Vitesse relative par rapport à l'air	12.5
$\gamma$	m/S <sup>2</sup>	Accélération	0.83
$m_i$	Kg	Masse d'inertie du véhicule	260
$m$	Kg	Masse du véhicule	250
$g$	m/S <sup>2</sup>	Gravité	9.81
$\theta$	Dégrés	Angle de route	0
$C_{rr}$	-	Coefficient de résistance au roulement	0.0024

#### Remarque :

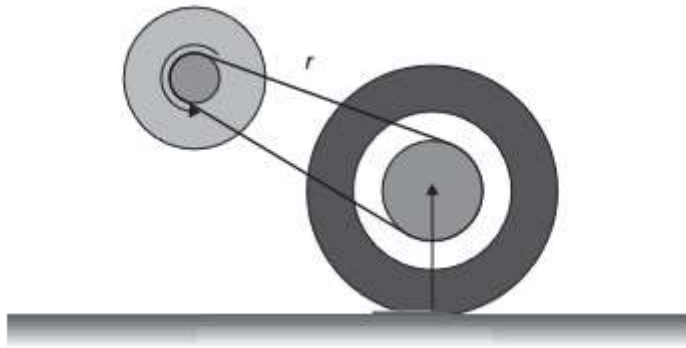
L'accélération est calculé entre deux vitesse  $V_1=0\text{m/s}$  et  $V_2=12.5\text{m/s}$  pendant une durée de temps égale à 15 secondes

$$\gamma = \frac{V_2 - V_1}{t} = \frac{12.5 - 0}{15}$$

$$\gamma = 0.83\text{m/s}^2$$

#### Application numérique des forces

Force	valeur
$F_{rr}$	82.88
$F_i$	215.8
$F_{aéro}$	5.65
$F_{grade}$	0
$F_{tr}$	304.03



Soit  $C_r$  le couple nécessaire aux roues pour obtenir cette force

$$C_r = F_r \cdot R_f \quad \Rightarrow \quad C_r = 72.96 \text{ N}\cdot\text{m}$$

- $R_f = 0.24 \text{ m}$  : rayon des roues
- $M = 4.4$  : rapport de réduction dépend de type de transmission mécanique

Soit  $C_e$  le couple du moteur

$$C_e = \frac{C_r}{m \eta_t} \quad \Rightarrow \quad C_e = 19.50 \text{ N}\cdot\text{m}$$

- $\eta_t = 85\%$  : le rendement de la transmission mécanique
- $$\Omega_e = m \cdot \Omega_r$$

$$\Omega_r = \frac{V}{R_f} = \frac{12.5}{0.24} \quad \Rightarrow \quad \Omega_r = 52.08 \text{ rad/s}$$

$$\Omega_e = 229.15 \text{ rad/s} \quad \Rightarrow \quad = 2189.33 \text{ Tr/min}$$

Soit  $P_e$  la puissance fournie par le moteur

$$P_e = C_e \cdot \Omega_e \quad \Rightarrow \quad p_e = 4275.6 \text{ W}$$

## Conclusion

Notre moteur a pour caractéristiques

Paramètre	valeur
Puissance nominale	4275.6W
Vitesse nominale	2189.33 Tr/min

### le choix de Moteur

Un moteur sans balais, ou « moteur brushless », ou « moteur bldc », ou machine synchrone autopilotée à aimants permanents, est une machine électrique de la catégorie des machines synchrones, dont le rotoest constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents et peut être pourvu d'un capteur de position rotorique (capteur à effet Hall, synchro-résolver, codeur incrémental...).

Un moteur brushless est largement utilisé dans de nombreuses applications industrielles, telles que le véhicule hybride, le véhicule électrique.

Pour quelle raison en choisir moteur bldc :

- possibilité d'accélération élevée sans limitation due à la commutation.
- temps de démarrage court
- rendement élevé sur toute la gamme de vitesse.
- gamme de vitesse importante (1 750 à 7 000 min<sup>-1</sup>).
- puissance constante dans un rapport de vitesse de 4

# MOTEUR Brushless (BDLC 5 KW)

(J'ai pris volontairement un peu plus large)

**Model: HPM5000B -- High Power BLDC Motor**

PRIX : 1340.45 TND ([www.goldenmotor.com](http://www.goldenmotor.com))

Tension: 48V

Puissance nominale: 3KW-7.5KW

Efficacité: 91%

Résistance de phase (Milliohm): 6.2 / 48V;

Induction de phase (100KHZ): 68uH / 48V;

Vitesse: 2000-6000 tr / min (personnalisable)

Poids: 11 kg (air),

Boîtier: aluminium

Longueur (hauteur): 126mm Diamètre: 206mm

Taille de la rainure de clavette: 5 mm (L) x 43 mm (L) x 19 mm (P: 22,3 mm)

Caractéristiques: Design compact, Résistant à l'eau, Arbre en acier inoxydable, Ventilateur à refroidissement automatique

Applications: voiture électrique, moto électrique, tricycle électrique, voiturette de golf électrique, élévateur à fourche, bateau électrique, etc.



*Figure 11 :MOTEUR Brushless 5KW*



## II. Dimensionnement de la batterie

Pour dimensionner notre batterie on a passé par plusieurs étapes

Avant tout, la batterie de pouvoir rentrer dans le compartiment, veuillez donc en prendre une adaptée à votre voiture en vous concentrant donc sur les dimensions : hauteur, largeur et longueur.

Ensuite, il faudra s'attarder sur plusieurs données qui sont les ampères/heure (dit Ah) et la puissance qui peut être délivrée au démarrage (A). Plus la capacité en A et Ah est importante, plus la batterie pourra tenir longtemps et procurer une forte énergie à un instant T. Il est donc tout à votre avantage de choisir les plus performantes.

### 1. Choix du type de batterie "Lithium-ion "

Les batteries li-ion ou lithium-ion sont les modèles les plus utilisés actuellement. Notamment que les batteries parce qu'elles sont plus légères, plus compactes, plus pérennes et performantes que les batteries au plomb.

La batterie lithium-ion a une haute densité d'énergie, c'est à dire qu'elle peut stocker 3 à 4 fois plus d'énergie par unité de masse que les autres technologies de batteries. Elle se recharge très vite et supporte de nombreux cycles (au moins 500 charges-décharges à 100 %). mais leurs réactions dans des situations critiques doivent impérativement être contrôlées. Ainsi, il est nécessaire de surveiller chaque cellule grâce à une carte électronique appelée BMS (ou battery management system).

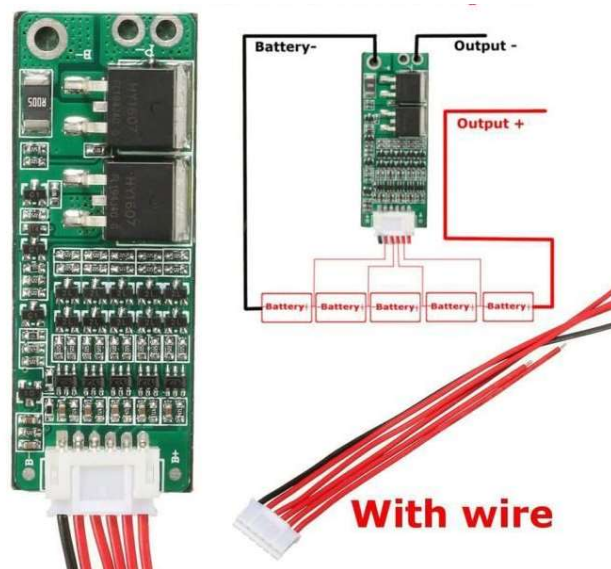


Figure 12: battery management system

Les cas critiques sont notamment :

- La surcharge
- Exposition à des températures trop fortes ou trop faibles
- Sur-décharge suivi d'une recharge
- Court-circuit

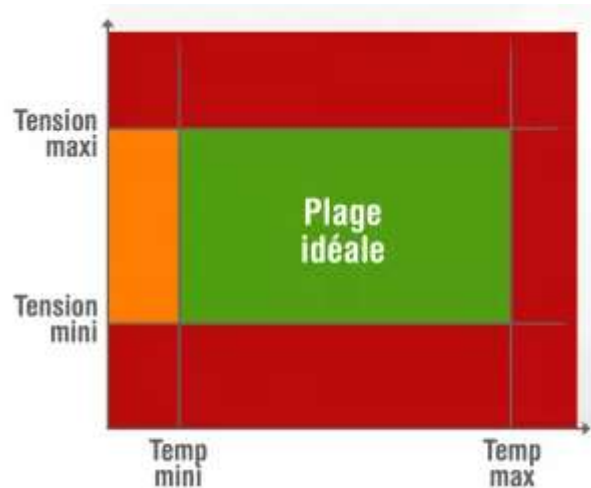


Figure 13 Plage de fonctionnement de la batterie

Ce que vous apportera notre BMS

- Il interrompt le déchargement des cellules avant que cela ne devienne critique pour la durée de vie de celles-ci
- Interrompt le chargement des cellules avant qu'elles ne soient trop chargées
- Optimise un chargement égal d'une cellule à l'autre
- Vérifie la température interne des cellules
- Détecte les problèmes électriques éventuels
- Protège en permanence les éléments contre la surtension ou la sous-tension
- Possibilité de gérer plusieurs BMS pour l'utilisation de batteries plus puissantes
- Possibilité d'avoir en temps réel l'état de charge de la batterie
- Il prolonge la durée de vie de vos batteries

## 2. Choix de la tension de la batterie

Puisque le moteur utilisé a une tension nominale 48 V donc il faut installer les batteries de 12 V pour obtenir 48 V

## 3.Choix de la capacité de la batterie

La capacité des batteries est indiquée en ampère-heure. Pour faire simple, disons par exemple qu'une batterie de 100 Ah peut en théorie délivrer un courant de 10 ampères pendant 10 heures, ou 1 ampère pendant 100 heures.

La capacité de la batterie est appelée C en Ah. C'est donc le produit d'un courant et d'un temps de fonctionnement

$$C = I \cdot t$$

I: courant nominal

t : temps de fonctionnement

Pour estimer C il faut une information sur la puissance nécessaire en watt et pendant combien de temps

Ensuite, on peut calculer l'énergie en joule

$$W = P \cdot t = 5000 \cdot 1 \text{ joule.a}$$

P : puissance nécessaire

t =1 heure: la durée de fonctionnement de la batterie

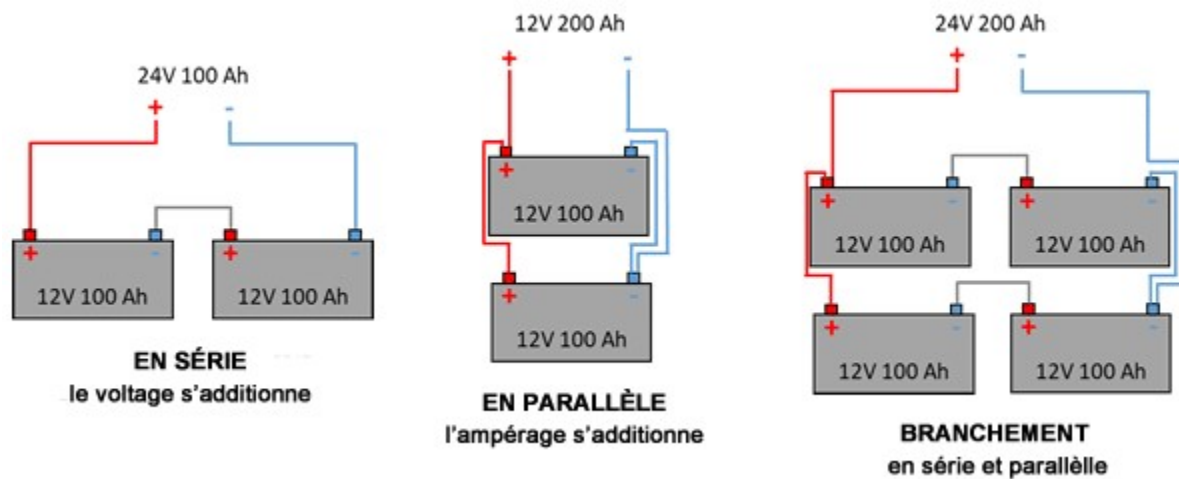
Finalement, il suffit de diviser par la tension batterie pour retrouver C

$$C = \frac{W}{U_{bat}} = \frac{5000}{48} = 104.16 \text{ Ah}$$

$$U_{bat} = 48 \text{ V}$$

## 4. conclusion

En jouant sur les connexions des batteries en série et en parallèle, vous modifiez le voltage et l'ampérage. Lorsque deux batteries sont reliées en série l'ampérage ne bouge pas et le voltage est multiplié par deux. A l'inverse, lorsque deux batteries sont reliées en parallèle le voltage ne change pas et l'ampérage est multiplié par deux. Vous pouvez ensuite faire des branchements en étoile —> série + parallèle jusqu'à atteindre la tension et l'intensité qui sont requises pour mener à bien nous projet. Les batteries doivent être **identiques**.



## Choix de batterie

### 48V 120Ah rechargeable Li-ion Batterie

Lithium-ion pour EV ([fr.made-in-china.com](http://fr.made-in-china.com))

**N° de Modèle:** EVU004B

**PRIX :** 4000 TND

**Usage :** Voiture, Bus, Puissance Électrique, Éclairage, Bateau

**Tension nominale :** 48V

**Forme :** Batterie Carrée

**Électrolyte :** Li-ion

**Installation:** Emballé

**Rechargeable:** Chargeable

1. Tension Normal: 12V, 36V, 48V, 72V
2. Capacité nominale: 70Ah, 100Ah, 120Ah, 200Ah, 400Ah

3. Cellule comination: 13S12P+BMS(CANBUS)
4. Courant de charge: 0.2C
5. Décharge Continuouse actuel: 2C
6. L'exercice de la température de fonctionnement: -20~60°C
7. Température de travail de chargement: 0-45°C
8. Dimensions (mm): 404.6 x 282.8 x 88.5.0mmmm



*Figure 14 :48V 120Ah rechargeable Li-ion Batterie*

Prix de BMS: 36,86 TND

# BLDC Motor controller 5kw

**Model: VEC300**

Prix: 1358, 21 TND ( [www.goldenmotor.com](http://www.goldenmotor.com) )

Tension: 48V

Courant nominal du bus CC: 30A-200A

Puissance de sortie nominale: 1000-10000W

Mode de contrôle moteur: FOC

Opération au repos courant: 20 ~ 40mA

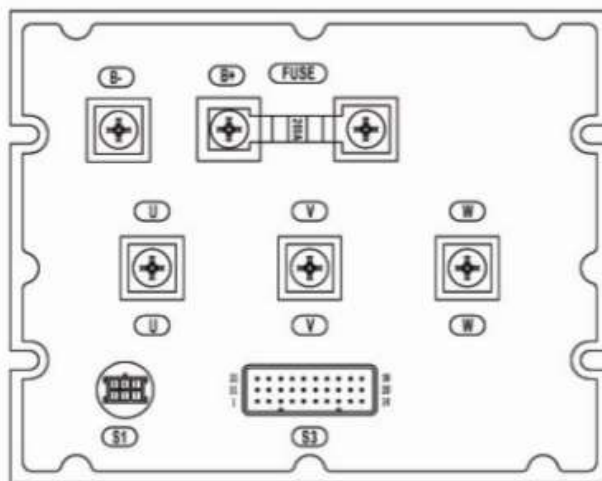
Limite de vitesse: contrôlée par le moteur et la configuration

Méthode de conduite: Contrôle de couple direct

Poids: 2.5kg



*Figure 15 BLDC Motor controller*



## S1—Programming

- ①—GND (Black)
- ②—RX (Green&Yellow)
- ③—TX (Green)
- ④—+5V (Red)

## S3—Function control wiring harness

- |                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| (1)—Motor Temperature (White)  | (20)—High Speed (Blue)      |
| (4)(5)(6)—GND                  | (21)—GND (Black)            |
| (7)—Cruise (Gray)              | (24)—Low Speed (Blue)       |
| (8)—Electric Lock (Orange)     | (26)—GND (Black&White)      |
| (9)—Hall C (Blue)              | (27)—Throttle (Green&White) |
| (12)—Hall B (Green)            | (28)—+5V (Red&White)        |
| (13)—Hall A (Yellow)           |                             |
| (16)—+5V (Red)                 |                             |
| (19)—+12V Brake (Yellow&White) |                             |
| (18)—Brake (Blue&White)        |                             |

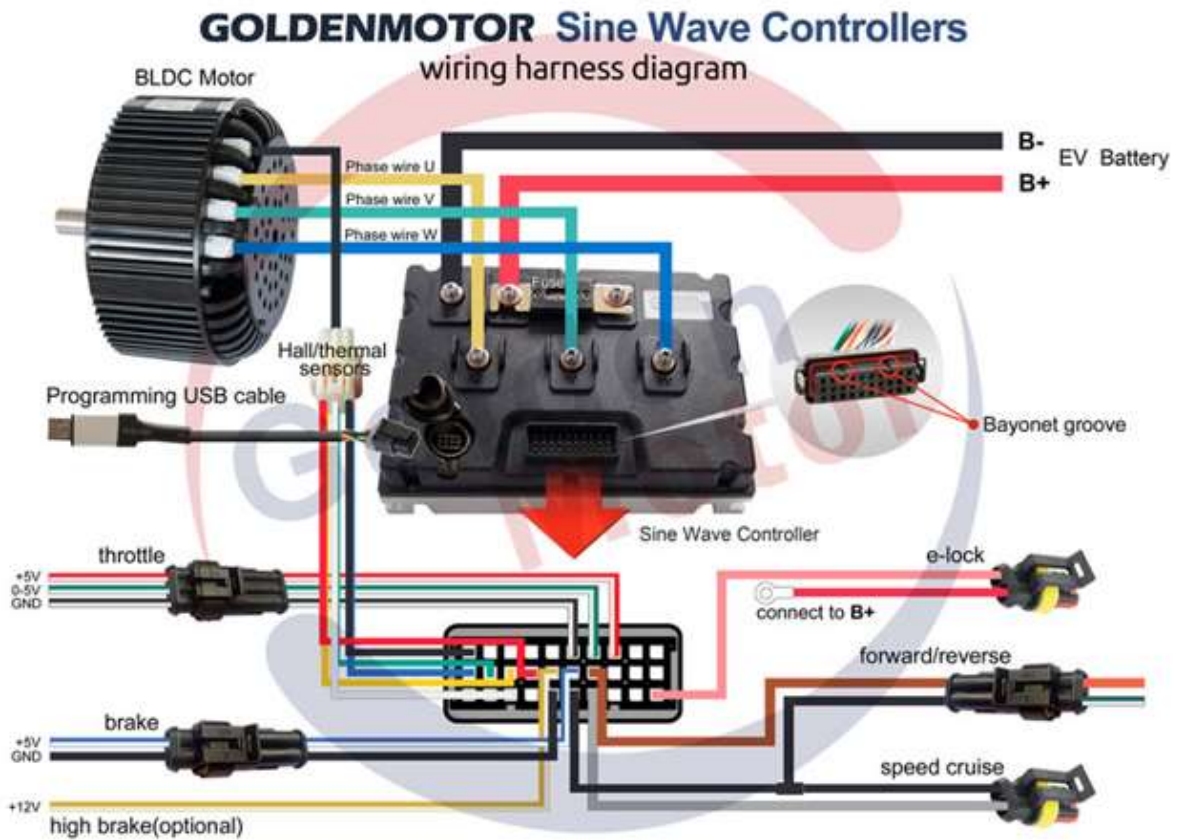


Figure 16::câblage électrique moteur brushless

## Câble de programmation USB

**Model: PI-400/VEC -- FOC Controller Programming Kit**

PRIX :180,67 TND ([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

Très simple a utilisé pour les pc (Connexion facile au port USB)



Figure 17:Câble de programmation USB



**Model: CA-201 -- HPC Controller Wiring Harness**

PRIX: 90, 25 TND([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

23-pin Water-Resistent Connector

Dynamic Montoring Connector



*Figure 18:HPC Controller Wiring Harness*

**Model: FSC-010 -- Foot Throttle**

Prix : 146,782 TND([www.alibaba.com](http://www.alibaba.com))

Modèle: FSC-010 - Accélérateur à pied  
(pédale)

Tension de sortie: 0-5V

Matériau: aluminium moulé

Poids: 0.9Kgs

Caractéristiques: résistant à l'eau



*Figure19:Accélérateur à pied*



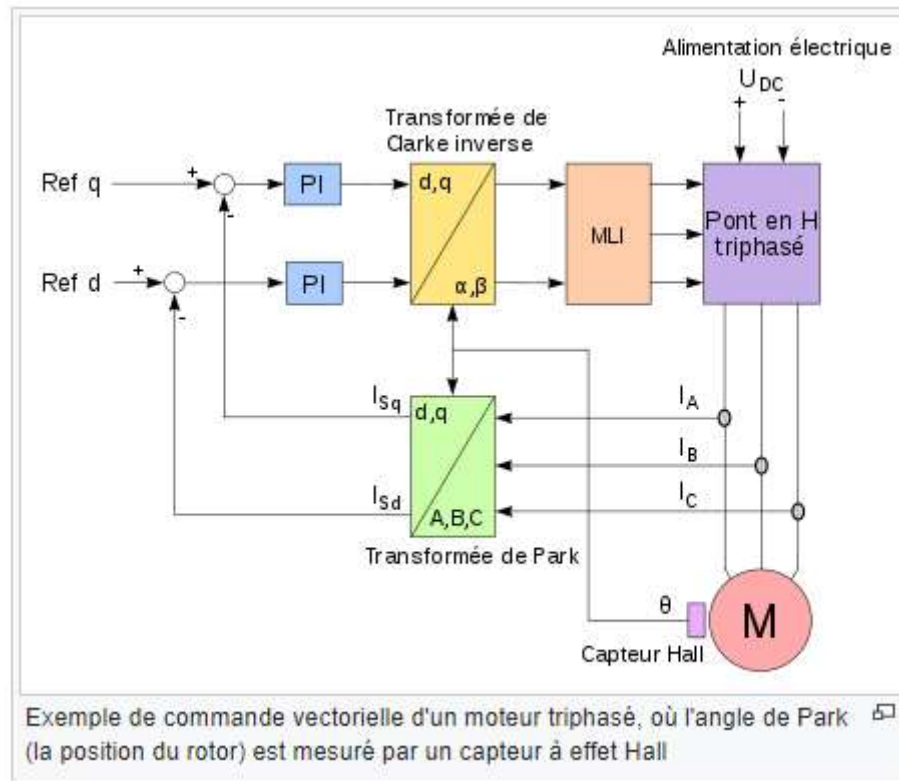
# **Conclusion Générale**

**Le but principale dans ce projet de fin d'année est d'étudier la motorisation de la voiture électrique pour participer à la compétition SHELL ECO-MARATHON et estimer les prix composants a utiliser pour la réalisation de la véhicule.**

**Une première phase a été celle d'étudier la voiture électrique en général ses différents types et ses caractéristiques.**

**Une deuxième phase est celle de dimensionner les principaux composants tel que le moteur et la batterie et aboutir a un choix précis selon le marché et les besoins de nos projet**

# Commande vectorielle



commande vectorielle, aussi appelée commande à flux orienté (field-oriented control en anglais), est une méthode de commande des variateurs de vitesse électrique dans laquelle les courants statoriques triphasés d'un moteur électrique à courants alternatifs sont transformés en deux composantes orthogonales qui peuvent être considérées comme étant des vecteurs. Le premier vecteur permet le réglage du flux magnétique du moteur, tandis que le second règle le couple. Ils sont alors découplés et le fonctionnement devient alors similaire à celui d'un moteur à courant continu.

La modulation de largeur d'impulsion (MLI) gère ensuite la commutation des transistors du variateur de vitesse électrique en fonction de la consigne de tension qui lui parvient.

