

THIERRY LEQUEU
ARNAUD SIVERT

JE CONSTRUIS MON VÉHICULE ÉLECTRIQUE

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2013
ISBN 978-2-10-059357-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE		PAGE
	Avant-propos	1
	Introduction	7
1	Relations entre électricité, mécanique, et cinématique	11
	1.1 Force et puissance motrice	12
	1.2 Force accélératrice et force décélératrice	13
	1.3 Relation force, couple, vitesse, puissance	17
	1.4 Force, puissance, couple et intensité équivalent thermique	19
	1.5 Indice de protection du matériel électrique	21
	1.6 Les dangers de l'électricité	22
	1.7 Caractéristique dynamique d'un véhicule	23
2	Les moteurs et les variateurs	27
	2.1 Les différentes technologies de moteurs et de variateurs	28
	2.2 Choix de la transmission	36
3	Le stockage de l'énergie	39
	3.1 Les accumulateurs électriques	40
	3.2 Modèle et caractéristiques d'une batterie	48
	3.3 Les super-condensateurs	56
	3.4 Les chargeurs de batterie	60
4	Les accélérateurs et l'instrumentation	71
	4.1 Les différents types d'accélérateur	72
	4.2 L'instrumentation	73
	4.3 Mesure de la température du matériel	79
5	Application vélo à assistance et cycle motorisé	81
	5.1 Le vélo électrique au quotidien	82
	5.2 Puissance demandée par un vélo	84
	5.3 Les moteurs de 250 W à 4 KW	86

5.4	Les moteurs outrunner de 250 W à 14 kW et les variateurs	89
5.5	Les roues, rayonnages et transmissions	90
5.6	Les variateurs et les accumulateurs	91
5.7	Câblage d'un vélo électrique	104
5.8	Bilan et estimation du prix de l'énergie entre un vélo électrique et un 50 cm ³	107
5.9	Synthèse sur la réalisation d'un cycle électrique	109
6	Application au kart électrique	111
6.1	Caractéristiques des karts thermiques	112
6.2	Puissance demandée par un kart électrique	112
6.3	Couple à l'accélération	113
6.4	Transmission	114
6.5	Batteries pour karting	115
6.6	Les motorisations pour kartings électriques	117
6.7	Paramétrage du variateur	126
6.8	Dynamique d'un karting	130
	Index	135

AVANT-PROPOS

BREF HISTORIQUE

Les véhicules électriques existent depuis le début du XX^e siècle. Ils avaient à l'époque des performances comparables à celles des véhicules thermiques.

Mais l'évolution des moteurs thermiques a été beaucoup plus rapide que celle des accumulateurs électriques. Par conséquent, les véhicules électriques n'ont rapidement plus été viables d'un point de vue économique. Les moteurs à combustion interne et à essence ont donc acquis une position largement dominante sur le marché pendant tout le XX^e siècle¹. Les véhicules avec moteur électrique autonome ont été spécialisés dans des applications telles que chariots élévateurs, machines de nettoyages industriels, chariots filoguidés...

Depuis 2007, grâce aux dernières innovations dans le domaine des accumulateurs et grâce à la flambée du prix du pétrole, les véhicules électriques redeviennent intéressant économiquement.

Figure 0.1
À gauche, *La jamais*
contente de 1899
50 kW, 200 V,
avec deux moteurs,
100 km/h Max.



1. On peut lire un bel historique des moteurs sur www.kartelec.com



Figure 0.2
Peugeot de 1941,
2,5 kW, 48 V, vitesse
Max 30 km/h

CONSTRUIRE SON VÉHICULE ÉLECTRIQUE !

Construire un véhicule électrique, c'est faire un compromis entre la puissance, la consommation d'énergie, le poids, le volume, l'autonomie... et le coût.

Pour tous les véhicules électriques, le point noir se trouve au niveau des batteries qui coûtent encore relativement cher et qui ont une durée de vie limitée avec une fiabilité approximative.

En conséquence l'autonomie des véhicules électriques est encore relativement faible par rapport à celle des véhicules à essence. La recharge électrique prend généralement plus d'une heure, même s'il existe aussi des possibilités de faire un échange rapide avec un autre jeu de batteries.

En revanche, l'énorme avantage des véhicules électriques est que l'énergie électrique est à peu près cinq fois moins chère que l'essence (en 2012), et que cet écart se creuse un peu plus chaque année.

Aujourd'hui, il est facile de réaliser son propre véhicule électrique grâce au web où l'on pourra trouver tout le matériel nécessaire. Ces dernières années, de nombreux fournisseurs se sont spécialisés dans la vente de kits à monter soi-même. On regrettera malgré tout qu'ils fournissent très peu de justifications permettant de guider le choix de l'internaute. De nombreux blogs et forums existent aussi pour vous aider, mais ils sont loin de donner un guide complet pour la réalisation d'un véhicule électrique. Autre inconvénient, il y a de fortes chances d'avoir des réponses en anglais même en formulant des questions en français.

Par ailleurs, la réalisation d'un véhicule électrique demande de sérieuses connaissances en mécanique, en électrique, et en thermique. Choisir un moteur ou un variateur en adéquation avec un cahier des charges n'est pas facile pour tout le monde. De même, le choix d'un accumulateur qui nécessite de sélectionner le nombre d'éléments, la capacité énergétique, l'autonomie, le volume, le

poids, le prix, l'indice de protection, la durée de vie, le montage de l'accumulateur, est souvent un casse-tête...

LES OBJECTIFS DE CE LIVRE

Le but de ce livre est de vous aider à faire ces choix pour que vous puissiez réaliser vous-même votre véhicule à partir de vos objectifs. Il regroupe l'ensemble des informations techniques qui vous permettront de construire votre propre véhicule électrique que ce soit pour un usage quotidien, pour des challenges ou pour des courses.

Tous les aspects mécaniques, électriques, paramétrage, chargeurs, sont traités afin de permettre à chacun de faire des choix et de concevoir son véhicule en fonction de son cahier des charges.

Ce livre vous aidera à dimensionner, à modéliser, à paramétrer, puis à réaliser et à valider votre véhicule. Il vous permettra aussi d'en faire la maintenance et de l'optimiser.

Fruit d'une expérience de plusieurs années des auteurs et de leurs étudiants, cet ouvrage rassemble de nombreux conseils, astuces, exemples pratiques et expériences personnelles.

Les auteurs ont pris le parti d'utiliser certains termes techniques anglais ce qui permet de comprendre les *datasheets* et les documents des fournisseurs étrangers.

À QUI S'ADRESSE CE LIVRE ?

Ce livre s'adresse à tous ceux qui veulent réaliser un véhicule électrique, qu'ils soient collégiens ou lycéens (Bac pro mécanique, électrique, STI2D, S science de l'ingénieur), étudiants en BTS ou IUT (GEII, génie électrique, mécanique) ou élèves ingénieurs, car le véhicule électrique sera l'un des véhicules de notre futur.

Ce livre est aussi dédié à tous les autodidactes et amateurs qui ont le projet de réaliser leur propre véhicule électrique sans être spécialiste de ce domaine.

LES COMPÉTITIONS ET LES ASSOCIATIONS

Il existe de nombreux regroupements, challenges, ou salons qui permettent d'essayer des engins électriques et de dialoguer avec des passionnés qui ont réalisé leurs prototypes.

L'objectif de ces manifestations est en général de partager un savoir-faire et de comparer les choix technologiques de chacun.

Festival national de karting électrique

Depuis 2006, le Festival national de Vierzon regroupe vélo électrique, robot, karting électrique¹. Ce challenge dure trois jours, et a lieu fin mai. Le but est de comparer les prototypes au cours de différentes épreuves sur circuit. De nombreuses écoles participent mais il y a aussi des fabricants de karting électriques². Ces épreuves sont :

- l'endurance de 2 heures avec 2 kartings (pendant qu'un karting charge l'autre roule),
- l'endurance de 4 heures avec 2 à 4 kartings,
- le start et stop de 50 m,
- le meilleur temps au tour des sessions sur les 3 jours,
- la course de 10 minutes.

Pour les écoles un dossier pédagogique doit être fourni et il sera évalué par un jury.

L'organisation de ce festival est assurée par l'association ASTECH³ avec de nombreux membres d'anciens ingénieurs de chez Matra qui ont pour but de promouvoir et de vulgariser les sciences et les technologies.

Ce rassemblement de Vierzon regroupe aussi l'Association e-Kart dont de nombreux membres sont enseignants en IUT, lycées ou écoles d'ingénieurs, mais aussi ingénieurs dans l'industrie (Peugeot, ADS-technologies⁴, Optima, Sevcon...).

Challenge éco-marathon

Les éco-marathons sont des compétitions de véhicules dont le but est de parcourir la plus longue distance avec un minimum d'énergie. Ces compétitions sont réservées aux étudiants de tous les niveaux (du collège jusqu'aux grandes écoles) et de tous les pays.

Ces éco-marathons sont ouverts à tous types d'énergies (moteurs à combustion, piles à combustible (hydrogène), moteurs électriques avec batteries ou solaires).

1. www.e-kart.fr

2. Par exemple www.speedomax.fr

3. www.cartec-inno.com

4. www.ecolostation.com

Il existe des éco-marathon en France¹, en Belgique² et aux Pays-Bas³. Ces différents challenges, dont les règlements sont pratiquement identiques, ont pour but de proposer des épreuves éducatives à caractère environnemental qui encouragent l'épanouissement de projets concrets issus des enseignements techniques et professionnels.

L'objectif des concurrents de ce challenge est de parcourir 25 km à une vitesse minimale de 30 km/h en consommant le moins d'énergie possible.

Il y a deux catégories (**prototypes** à trois roues minimums et **éco-citadin** à quatre roues). Un dossier pédagogique doit être fourni et évalué par un jury. Les participants sont de tous cursus comme le montre la figure suivante pour la France.

- 75 concurrents
- 61 établissements
 - 8 collèges,
 - 22 lycées,
 - 28 « niveau Bac + 2 »,
 - 17 grandes écoles d'ingénieurs
- 17 régions et 34 départements
- 1 équipe suisse

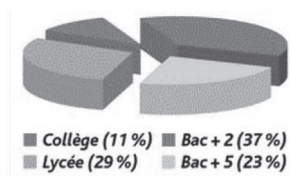


Figure 0.3
Nombre
de participants
au challenge
Educeco en 2012.

Autres épreuves

Il existe aussi la traversée des Alpes, organisée par Jean Marc Dubié⁴, ouverte à tous les véhicules qui ne sont pas « thermiques ».

Il y a également tous les rassemblements cyclotourismes où l'on voit de plus en plus de vélo électrique. Il en est de même, pour les rassemblements de vélo couché⁵ (Sologne, Normandie, Trans'Ardennaise, circuit du Mans, velos'Aisne...) où il y a de nombreux véhicules électriques.

Enfin, il existe un Rallyes Solaires en Savoie pour les prototypes mélangeant l'utilisation des batteries et la recharge par panneaux solaires.

1. www.educeco.net,

2. www.slto.be/ecomarathon

3. l'éco-marathon Shell

4. pile-au-methanol.com

savoie-technolac.com/236-course-de-vehicules-solaires.htm

5. velorizontale.bbfr.net/forum

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient leurs collègues enseignants pour les corrections faites à ce manuscrit, notamment Emmanuel Franc du lycée Leonard de Vinci de Soissons qui a participé à la réalisation d'un prototype pour l'éco-marathon, ainsi que José Claudon enseignant à l'IUT de Génie Mécanique de Saint-Quentin de l'IUT de l'Aisne qui a collaboré à la réalisation de plusieurs kartings électriques.