



EGEM

électronique – génie électrique – microsystemes

Le génie électrique automobile

la traction électrique

*sous la direction de
Joseph Beretta*

Hermès

Lavoisier

Table des matières

Préface	15
Joseph BERETTA	
Chapitre 1. Introduction	17
Joseph BERETTA	
1.1. Les contraintes automobiles	17
1.2. Les chiffres-clés de l'automobile – données CCFA (Comité des Constructeurs Français Automobiles.)	18
Chapitre 2. Définitions de base	21
Joseph BERETTA	
2.1. Notions de base	21
2.1.1. Notions d'énergétique automobile	21
2.1.2. Notions de dynamique automobile	23
2.1.2.1. Rappel des lois de la dynamique automobile	23
2.1.2.2. La force motrice	24
2.2. Les différents systèmes de traction électrique	26
2.2.1. Définitions de base	26
2.2.2. Définitions des systèmes de traction	30
2.2.3. Systèmes de traction hybrides thermique électrique	35
2.2.3.1. Les systèmes pile à combustible	36
2.2.3.2. Panorama des hybrides simples thermiques électriques	36
2.2.4. Les hybrides complexes	37

Chapitre 3. Les véhicules à traction électrique	43
Joseph BERETTA, Cyriacus BLEIJS, François BADIN et Thierry ALLEAU	
3.1. Historique	43
3.2. Les véhicules électriques à batterie	47
3.2.1. Dimensionnement de la batterie	47
3.2.2. Cahier des charges du véhicule	48
3.2.3. Calcul des masses du véhicule	49
3.2.4. Application à un petit véhicule	52
3.3. Les systèmes de recharge pour les véhicules électriques	56
3.3.1. Qu'est-ce que la recharge ?	57
3.3.2. Les différents types de chargeurs	57
3.3.3. Le rendement de la recharge	65
3.3.4. La recharge en toute sécurité	66
3.4. Les véhicules hybrides thermique-électrique	68
3.4.1. Bilan des motorisations classiques	68
3.4.1.1. Evolutions récentes et perspectives	69
3.4.1.1.1. Moteurs essence	70
3.4.1.1.2. Moteur Diesel	73
3.4.1.1.3. Downsizing	74
3.4.1.1.4. Moteur à combustion par auto-inflammation	75
3.4.1.1.5. Commande électromagnétique des soupapes	76
3.4.1.1.6. Transmissions	77
3.4.1.1.7. Equipements électriques	78
3.4.1.2. Conditions d'utilisation	80
3.4.2. Mise en œuvre des transmissions hybrides	83
3.4.2.1. Principe général	83
3.4.2.2. Classification sommaire	86
3.4.2.3. Types de configurations	86
3.4.2.4. Cas de la configuration thermique-électrique	87
3.4.3. Contexte des recherches concernant la transmission hybride	87
3.4.3.1. L'épopée initiale	88
3.4.3.2. La maîtrise de l'énergie	89
3.4.3.3. La maîtrise des émissions	90
3.4.3.4. La prise de conscience de l'effet de serre	91
3.4.4. Fonctionnalités des architectures hybrides	95
3.4.4.1. Choix de classification	95
3.4.4.2. Hybrides discrets	96
3.4.4.2.1. Démarrage du moteur thermique (<i>stop&go</i>)	96
3.4.4.2.2. Assistance au moteur thermique	101

3.4.4.2.3. Générateur de bord	104
3.4.4.2.4. Mode tout électrique	105
3.4.4.2.5. Récupération d'énergie au freinage	107
3.4.4.2.6. Transmission continue électrique	110
3.4.4.2.7. Transmission continue électrique avec stockage (hybride série)	112
3.4.4.2.8. Assistance au changement de rapports	114
3.4.4.2.9. Amortissement des oscillations angulaires	114
3.4.4.3. Hybrides fonctionnels	115
3.4.4.3.1. Mode tout électrique avec autonomie	115
3.4.4.3.2. Motorisation répartie	116
3.4.4.3.3. Connexions électrique externes	117
3.4.5. Evaluation des véhicules hybrides	121
3.4.5.1. Problématique	121
3.4.5.2. Stockage d'énergie réversible non rechargeable sur le réseau	122
3.4.5.3. Stockage d'énergie réversible rechargeable sur le réseau	126
3.4.5.4. Prise en compte du mode électrique avec autonomie	127
3.4.5.5. Prise en compte du freinage sur banc à rouleau	127
3.4.5.6. Cas du freinage réparti	128
3.4.6. Les premiers véhicules sur le marché	128
3.4.6.1. Véhicules particuliers	128
3.4.6.1.1. Quelles hybridations ?	128
3.4.6.1.2. Quelles performances ?	130
3.4.6.1.3. Quelles stratégies ?	131
3.4.6.1.4. La Toyota Prius	132
3.4.6.1.5. La Honda Insight	140
3.4.6.1.6. La Honda Civic	141
3.4.6.1.7. La Toyota Estima	142
3.4.6.1.8. La Ford Escape	143
3.4.6.1.9. La Toyota Crown	144
3.4.6.2. Les transports en commun	145
3.4.6.2.1. Problématique	145
3.4.6.2.2. Réalisations en Diesel-électrique	146
3.4.6.2.3. Réalisations en hybride série	148
3.4.6.2.4. Réalisations en hybride parallèle et série-parallèle	150
3.5. Les véhicules à pile à combustible	153
3.5.1. Introduction, historique	153
3.5.2. Choix du type de pile à combustible	154

3.5.2.1. Le principe d'un véhicule à pile à combustible	155
3.5.2.2. Les programmes des grands constructeurs automobiles	156
3.5.2.3. Bilans globaux	176
3.6. Bibliographie.	177

Chapitre 4. Les organes de traction électrique 181
 Joseph BERETTA, Jean BONAL et Thierry ALLEAU

4.1. Les moteurs électriques	183
4.2. Les convertisseurs électroniques	188
4.2.1. Particularités des véhicules électriques routiers	188
4.2.2. Eléments constituant des convertisseurs électroniques	189
4.3.3. Générateurs – Récepteurs – Sources	190
4.3.4. Les redresseurs	193
4.3.5. Les hacheurs	194
4.3.6. Les onduleurs	210
4.3. Les batteries et systèmes de stockage statique	214
4.3.1. Les différents couples électrochimiques	215
4.3.2. Positionnement des couples NiMH et Li-ion pour l'application haute puissance	220
4.3.3. Les filières de recyclage	223
4.4. La pile à combustible et le stockage de combustible à bord	225
4.4.1. Historique de la pile à combustible	225
4.4.2. Les différents types de pile à combustible	228
4.4.3. La pile à combustible de type PEMFC.	230
4.4.4. Technologie et coût des composants de la pile à combustible.	242
4.4.5. Les périphériques de la pile.	247
4.4.6. La modélisation numérique de la pile	251
4.4.7. Le combustible et son stockage	254
4.4.7.1. Le stockage d'hydrogène	254
4.4.7.2. La réglementation et la normalisation	265
4.4.8. Conclusions	267
4.5. Bibliographie.	269

**Chapitre 5. Les perspectives d'évolution de la traction électrique :
 Quelles technologies à l'horizon 2015 ? 271**
 Joseph BERETTA

5.1. La mobilité	271
5.2. Les nouvelles technologies	276
5.2.1. Les machines électriques.	277

5.2.2. L'électronique de puissance	279
5.2.3. Les sources d'énergie électrique	280
5.3. Les nouveaux véhicules	282
Glossaire automobile	291
Annexes	337
Annexe 1. Valeurs réglementaires des émissions européennes pour véhicules légers	337
Annexe 2.a. Exemple de transmission hybride parallèle avec stockage par volant d'inertie.	338
Annexe 2.b. Exemple de transmission hybride parallèle avec stockage oléopneumatique	339
Annexe 3. Exemple de répartition des fonctions	340
Annexe 4. Motorisation de la Toyota Prius	341
Index	343