

# Technologie des véhicules électriques et hybrides électriques

---

Systemes • Diagnostic • Réparation • Entretien

**James Halderman**  
**Curt Ward**

Pour l'édition  
en langue française

**Sébastien Tardif**  
**Benoit Michel**



# PRÉFACE

Plongez dans l'univers fascinant des véhicules électriques et hybrides avec cette première édition en français d'un manuel technique essentiel pour les passionnés et les professionnels. *Technologie des véhicules électriques et hybrides électriques* vous offre une exploration approfondie des dernières avancées dans le domaine, en mettant un accent particulier sur les technologies innovantes et les techniques de diagnostic avancées. Conçu tant pour accompagner un cursus académique ou une certification spécialisée, ce guide constitue également une excellente introduction pour ceux qui aspirent à s'immerger dans le monde des véhicules connectés et autonomes.

Avec un souci constant de pédagogie, ce manuel adopte une approche par système, garantissant ainsi une compréhension claire et structurée. Destiné aux étudiants en mécanique automobile et aux professionnels désireux de parfaire leurs connaissances sur ces technologies émergentes, il répond efficacement aux exigences théoriques et pratiques de la formation.

Les lecteurs ayant déjà une base en mécanique trouveront dans ces pages des explications claires sur le fonctionnement, le diagnostic, l'entretien et les réparations spécifiques aux véhicules électriques, toujours en alignement avec les normes des fabricants.

Flexibles, nos supports pédagogiques s'adaptent à divers formats d'enseignement, que ce soit pour structurer un programme de formation complet ou pour enrichir des modules personnalisés. Les formateurs auront la liberté de sélectionner les ressources les plus adaptées à leurs besoins, facilitant ainsi l'organisation de sessions de groupe ou de séances individuelles.

**CONTENU** Ce livre a été rédigé et enrichi par les commentateurs et les suggestions d'enseignants et de techniciens automobiles. Il est en adéquation avec les normes ISO et couvre les sujets suivants :

- Les quatre premiers chapitres présentent les véhicules électriques et hybrides électriques, y compris une introduction reprenant les bases techniques (chapitre 1), l'aspect sécurité (chapitre 2), les préoccupations environnementales qui poussent à l'électrification (chapitre 3), ainsi que les systèmes de propulsion hybride (chapitre 4).
- Le chapitre 5 traite des conseils d'entretien préventif à effectuer sur les véhicules électriques et hybrides.
- Le chapitre 6 couvre les utilisations de l'oscilloscope numérique à mémoire en mettant l'accent sur la

recherche des causes premières d'un problème soulevé par un client.

- Le chapitre 7 traite l'aspect mathématique et comprend les termes et définitions utilisés dans le reste du livre à propos de l'énergie et de la puissance, y compris les unités de mesure électriques couramment utilisées en motorisation électrique.
- Le chapitre 8 prépare le lecteur aux circuits électriques en traitant des courants alternatif et continu et aux essais des véhicules électriques et hybrides.
- Le chapitre 9 traite des batteries basse tension et des systèmes arrêt-démarrage des micro-hybrides actuellement disponibles.
- Le chapitre 10 décrit les types de batteries haute tension utilisées dans les véhicules électriques et hybrides électriques et leurs diverses configurations.
- Le chapitre 11 détaille l'électronique des systèmes de propulsion des véhicules électrifiés en élaborant sur les moteurs, les convertisseurs et les onduleurs.
- Les chapitres 12 et 13 traitent de la recharge des véhicules électriques et détaillent la recharge de niveaux 1, 2 et 3.
- Les chapitres 14 (Le freinage régénératif), 15 (La direction assistée électrique), 16 (Le chauffage, la ventilation et la climatisation), 17 (Les transmissions) et 18 (Les aides à la conduite) contiennent de nombreux détails indispensables aux réparateurs et aux techniciens d'entretien des véhicules électriques et hybrides.
- Le chapitre 19 couvre les systèmes avancés de piles à combustible et actuellement sur le marché et autres technologies avancées susceptibles de se développer à l'avenir.
- Le chapitre 20 décrit les principales façons d'identifier et de prévenir les situations dangereuses pour les premiers répondants lors du travail sur des véhicules électriques et hybrides.

**ORGANISATION** Le contenu du livre décrit les bases nécessaires à tous les techniciens automobiles ; les descriptions des divers systèmes évoqués suivent ce schéma :

- Objectif et fonction du système
- Éléments impliqués et leur description opérationnelle
- Diagnostic, entretien et réparation

# CARACTÉRISTIQUES DE CE LIVRE

Plusieurs caractéristiques de ce livre le distinguent des autres manuels techniques en automobile.

**COMPÉTENCES ET MOTS-CLÉS** Ces éléments sont énumérés au début de chaque chapitre pour aider le lecteur à se concentrer sur le sujet principal du chapitre. Les compétences représentent directement les tâches nécessaires à la réparation et à l'entretien de véhicules électriques les plus courants.

## COMPÉTENCES

Après avoir lu ce chapitre, vous serez en mesure de :

- Expliquer les précautions à prendre autour des systèmes à haute tension.
- Décrire les différences entre des multimètres CAT I, CAT II, CAT III et CAT IV.
- Expliquer à quoi servent les couleurs jaune, bleu et orange des câbles à haute tension.
- Énumérer les types d'équipements de protection individuelle.
- Vérifier adéquatement l'état des gants en caoutchouc avant leur utilisation.
- Expliquer le rôle d'un système de verrouillage de sécurité (interlock).
- Décrire la procédure de mise hors tension du système haute tension.

## MOTS-CLÉS

American National Standards Institute (ANSI) 5  
 Association canadienne de normalisation (CSA) 5  
 Catégorie 3 (CAT III) 7  
 Commission électrotechnique internationale (CEI) 5  
 Haute tension 2  
 Multimètre numérique 9  
 Norme CSA Z462/ASTM 496 5  
 Relais principaux du système (SMR) 3  
 Système d'avertissement acoustique du véhicule (AVAS) 17

**CONSEILS TECHNIQUES** Les encadrés « Conseil technique » donnent des conseils pratiques et décrivent diverses astuces appliquées au quotidien.



## CONSEIL TECHNIQUE

### Testez toujours le moteur électrique avant de remplacer l'onduleur

Avant de remplacer un onduleur défaillant, vérifiez que le moteur électrique ne présente pas de défauts. Il est relativement courant que des enroulements du moteur électrique soient en court-circuit et provoquent une défaillance de l'onduleur. Le nouvel onduleur risquerait de tomber en panne dès sa mise en service si la panne du moteur électrique n'est pas détectée et résolue au préalable.

**SÉQUENCES PHOTOS** Des séquences photos montrent en détail les étapes d'exécution d'une tâche ou d'une procédure d'entretien spécifique.

## SÉQUENCE PHOTOS 1

### Vérification des gants à haute tension



**1** La manchette du gant en caoutchouc doit dépasser d'au moins 5 cm la manchette du gant protecteur en cuir.



**2** Pour déterminer la taille du gant, enroulez un mètre souple autour de la paume de la main. La mesure en pouces correspond à la taille de gant (23 cm = 9 pouces = taille 9).



**3** Le niveau de sécurité du gant et la date de son dernier test doivent être estampillés sur la manchette.



**4** Commencez par inspecter visuellement le bout des doigts du gant, en vous assurant qu'il n'y a pas de coupures ou d'autres dommages.



**5** L'usure de ce gant se détecte par une simple inspection visuelle. Notez que le matériau du gant en caoutchouc peut être endommagé par les produits pétroliers, les détergents, certains savons pour les mains et même le talc.



**6** Gonflez manuellement le gant pour vérifier qu'il n'y a pas de fuites, même invisibles à l'œil nu. En commençant par la manchette, enroulez le gant et emprisonnez l'air dans l'extrémité des doigts. Écoutez et observez attentivement si le gant se dégonfle. En cas de fuite, jetez le gant.

## SÉQUENCE PHOTOS 1

### Vérification des gants à haute tension



**7** La présence de pétrole sur la surface du surgant protecteur en cuir endommagera le gant en caoutchouc qui se trouve en dessous.



**8** Un talc approprié (Glove Dust, Talc de Luznac) est conseillé pour absorber l'humidité et réduire la friction entre le gant et la peau.



**9** Enflez les gants et serrez les sangles au dos des manchettes de cuir (le cas échéant).



**10** Les techniciens DOIVENT porter des gants d'électriciens lorsqu'ils travaillent à proximité des zones HT d'un véhicule hybride ou électrique.



**11** Les gants HT doivent être placés dans un sac de rangement en toile lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Notez le trou d'aération au fond de ce sac.



**12** Les gants en caoutchouc ne doivent pas être pliés quand on les insère dans le sac en toile. La pliure augmente la contrainte mécanique sur le caoutchouc et peut entraîner une défaillance prématurée du matériau du gant.

SUITE >

**ÉTUDES DE CAS** Des études de cas présentent des scénarios réels et montrent comment une panne courante, mais parfois rare, a été diagnostiquée et réparée.



### ÉTUDE DE CAS

#### Le cas de la Chevrolet Volt qui refuse de recharger

Un propriétaire de Chevrolet Volt signale que, bien que sa voiture soit fréquemment branchée à une borne de recharge via un connecteur J1772, la recharge échoue souvent.

Pour valider la plainte du client, le technicien procède à un essai de recharge. Afin de déterminer si le souci provient de la borne ou de la voiture, le technicien réussit à recharger un autre véhicule électrique sur cette même borne. Il conclut donc que le problème réside dans la voiture et non dans la borne.

Conformément aux procédures d'inspection visuelle recommandées par le fabricant, le technicien identifie une fissure dans le port de recharge du véhicule, responsable de l'infiltration d'humidité. Cette humidité affecte la résistance du circuit, interrompant ainsi le processus de recharge. En remplaçant le port de recharge, le problème est résolu.

#### Résumé :

- **Plainte :** La Chevrolet Volt rencontre des difficultés de recharge intermittente lorsqu'elle est branchée sur une borne de recharge.
- **Diagnostic :** Une petite fissure laisse l'humidité pénétrer dans la prise de recharge du véhicule.
- **Réparation :** Le remplacement du port de recharge résout le problème.

**NOTES** Les notes fournissent des informations techniques supplémentaires qui permettent de mieux comprendre une tâche ou une procédure spécifique.

**NOTE:** La plupart des Tesla antérieures à 2021 n'utilisent pas de pompe à chaleur dans le système de climatisation, mais récupère la chaleur résiduelle du moteur et de l'électronique de puissance pour réchauffer la batterie.

**FAQ** Ces foires aux questions sont les plus couramment posées par les lecteurs et les techniciens de maintenance. Les réponses sont tirées de la longue expérience de l'auteur.



### FAQ

#### Quand doit-on désactiver le système haute tension ?

Le technicien ne doit pas désactiver le système haute tension lors de chaque entretien de routine, mais seulement lorsqu'il effectue une réparation ou un test sur un circuit auquel est relié un câble orange. Il s'agit notamment des circuits suivants :

- Le compresseur de climatisation s'il est alimenté électriquement.
- La batterie haute tension ou l'électronique associée.

La direction assistée électrique fonctionne généralement sous 12 ou 42 volts (V) et ne présente pas de risque d'électrocution. Cependant, il peut se produire une étincelle si on déconnecte un circuit à 42 V. Il convient de toujours se référer aux instructions pour l'entretien d'une direction assistée électrique ou de tout autre système susceptible d'utiliser une tension supérieure à 12 V.

**ATTENTION** Les encadrés «Attention» mettent en garde contre les risques potentiels pour la santé du technicien occupé à une tâche ou une procédure d'entretien spécifique.



### ATTENTION

Pour éviter toute décharge électrique, tout condensateur doit être traité comme s'il était chargé jusqu'à preuve du contraire.

## RÉSUMÉ, QUESTIONS DE RÉVISION ET TESTEZ VOS CONNAISSANCES

À la fin de chaque chapitre, ces éléments aident le lecteur à réviser la matière présentée et à autoévaluer ses connaissances.

## MATÉRIEL COMPLÉMENTAIRE

Le formateur dispose de matériel complémentaire pédagogique pour enrichir son enseignement. Contacter l'Éditeur pour connaître les modalités.

- Guide du formateur
- Présentations PowerPoint
- Vidéos et animations
- Banque de questions pour créer des examens
- Exercices en atelier

### RÉSUMÉ

- Le moteur à combustion interne des véhicules hybrides électriques diffère de ceux utilisés dans les véhicules conventionnels, car ils utilisent généralement le cycle Atkinson pour augmenter le rendement.
- Le décalage de l'axe de piston vers le côté contre-poussée offre des avantages mécaniques et réduit les frottements entre piston et cylindre.
- La distribution variable des soupapes (VVT) implique l'utilisation de positionneurs électriques et hydrauliques pour modifier le calage de l'arbre à cames par rapport au vilebrequin.
- Un analyseur-contrôleur du constructeur ou de marque générique est nécessaire pour faire tourner un moteur hybride à 250 tr/min afin d'effectuer un test de compression.

### QUESTIONS DE RÉVISION

1. Quelle est la différence entre un moteur à cycle Atkinson et un moteur à cycle classique à quatre temps ?
2. Quelles sont les différences entre un moteur utilisé dans un véhicule hybride et celui dans un véhicule conventionnel ?
3. Qu'est-ce qu'une bougie d'allumage indexée ?
4. Comment la modification du calage de l'arbre à cames ou de l'ouverture des soupapes affecte-t-elle le moteur ?
5. Comment maintenir le moteur à combustion interne en fonctionnement continu sans stop-start, et ce, sans recourir à un analyseur-contrôleur ?

### TESTEZ VOS CONNAISSANCES

1. Lequel des éléments suivants est une caractéristique de nombreux moteurs à essence hybrides ?
  - a. Une cylindrée réduite
  - b. Un vilebrequin décalé
  - c. Le calage variable des soupapes et/ou la désactivation de certains cylindres
  - d. Tous ces éléments
2. Quelle est la viscosité de l'huile d'un moteur à essence hybride ?
  - a. SAE 0W-20 ou SAE 5W-20
  - b. SAE 5W-30
  - c. SAE 10W-30
  - d. SAE 20W-50
3. La conception du moteur à cycle Atkinson \_\_\_\_\_.
  - a. nécessite une huile et un carburant spécialement conçus pour ce type de moteur
  - b. fonctionne différemment du moteur à essence normal à cycle à quatre temps
  - c. utilise le même cycle à quatre temps, mais retarde la fermeture des soupapes d'admission
  - d. a et b
4. Un vilebrequin décalé est utilisé pour \_\_\_\_\_.
  - a. améliorer la puissance du moteur
  - b. améliorer la consommation de carburant en réduisant les frottements internes
  - c. réduire le bruit du moteur
  - d. Toutes ces réponses
5. Le débit d'huile à travers le déphaseur tombe à zéro lorsque \_\_\_\_\_.
  - a. la largeur d'impulsion du solénoïde est de 0 %
  - b. la largeur d'impulsion du solénoïde est de 10 %
  - c. la largeur d'impulsion du solénoïde est de 50 %
  - d. la largeur d'impulsion du solénoïde est de 100 %
6. Des grilles protègent l'électrovanne VVT de la saleté et des impuretés qui peuvent provoquer le blocage de l'électrovanne. Si cette grille est obstruée par des débris, quelle en est la conséquence la plus probable ?
  - a. P0300 DTC (défaut d'allumage aléatoire)
  - b. P0017 DTC (erreur de corrélation entre position du vilebrequin et position de l'arbre à cames)
  - c. a ou b
  - d. a et b

# TABLE DES MATIÈRES

---

## chapitre 1

### Introduction aux véhicules électriques et hybrides 1

- Le véhicule hybride électrique 2
- Le véhicule électrique 2
- Un peu d'histoire 3
- L'efficacité des moteurs électriques et des moteurs thermiques 4
- Conduire un véhicule hybride ou électrique 6
- Les niveaux d'hybridation 12
- La classification des groupes propulseurs des véhicules hybrides 14
- Le système hybride à un, deux ou trois moteurs 18
- Les avantages et inconvénients d'un véhicule électrique 19

RÉSUMÉ 23

QUESTIONS DE RÉVISION 24

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 24

## chapitre 2

### La sécurité des véhicules hybrides et électriques 27

- La sécurité haute tension 28
- Les risques d'électrocution 30
- La zone de travail pour véhicules électriques 31
- L'équipement de protection individuelle (ÉPI) 32
- **SP 1** Vérification des gants à haute tension 36
- Les outils et équipements haute tension 41
- L'interlock et sectionneur de sécurité 44
- La mise hors tension du système haute tension 45
- **SP 2** Désamorçage de la haute tension d'une Chevrolet Bolt (méthode SANS analyseur-contrôleur) 47
- **SP 3** Désamorçage de la haute tension d'une Chevrolet Bolt (méthode AVEC analyseur-contrôleur) 49
- Le levage d'un véhicule hybride ou électrique 51
- Le déplacement d'un véhicule hybride ou électrique dans l'atelier 52

RÉSUMÉ 53

QUESTIONS DE RÉVISION 54

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 55

## **chapitre 3**

### **La santé et l'environnement 57**

- Le carbone, le climat et l'électrification des transports 58
- L'ozone 61
- L'absorption du rayonnement ultraviolet 63
- Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé 65
- Les pluies acides 66
- L'empreinte carbone 68

RÉSUMÉ 69

QUESTIONS DE RÉVISION 70

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 70

## **chapitre 4**

### **Les systèmes de propulsion hybride 73**

- Les moteurs hybrides à combustion interne 74
- Les principes de base du moteur 75
- Le cycle Atkinson 76
- Les caractéristiques spécifiques du moteur hybride 79
- Le calage variable des soupapes 83
- Le diagnostic des systèmes de distribution variable des soupapes 89
- Le système de refroidissement des moteurs hybrides 90
- La vérification du système de refroidissement 93
- Le système de stockage de la chaleur du liquide de refroidissement 95
- Désactiver le stop-start d'un moteur hybride 98
- Vérifier un moteur hybride 100

RÉSUMÉ 104

QUESTIONS DE RÉVISION 105

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 105

## **chapitre 5**

### **L'entretien préventif des véhicules électriques et hybrides 107**

- Les procédures d'entretien de routine 108

RÉSUMÉ 120

QUESTIONS DE RÉVISION 120

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 121

## chapitre 6

# Les tests à l'oscilloscope numérique à mémoire 123

- Les types d'oscilloscopes 124
- La configuration et le réglage de l'oscilloscope 126
- Le couplage CC et CA 127
- Les trains d'impulsions 129
- Le nombre de canaux 131
- Les déclencheurs 132
- L'utilisation d'un oscilloscope 133
- **SP 4** Configuration d'un oscilloscope 134
- L'utilisation des accessoires 137
- Analyser la forme d'onde 138

RÉSUMÉ 140

QUESTIONS DE RÉVISION 140

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 141

## chapitre 7

# L'énergie et la puissance 143

- L'énergie 144
- Le couple, le travail et la puissance 145
- La puissance électrique 148
- La production d'électricité solaire 150
- La production d'énergie éolienne 153
- La production hydroélectrique 155
- L'énergie géothermique 156

RÉSUMÉ 158

QUESTIONS DE RÉVISION 159

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 159

## chapitre 8

# L'électricité en courants alternatif et continu 161

- L'électricité en courant continu 162
- L'électricité en courant alternatif 163
- La puissance de sortie (en watts) 165
- Les condensateurs 167
- La force magnétique 169
- Le contrôle du moteur électrique 171
- Les mesures électriques 174
- La communication entre modules 175
- La reprogrammation des modules 177

RÉSUMÉ 182

QUESTIONS DE RÉVISION 182

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 183

## chapitre 9

# Les batteries basse tension et le système arrêt-démarrage des micro-hybrides 185

- Introduction à la batterie 12 V 186
- Le fonctionnement d'une batterie 186
- Les batteries au plomb sans entretien 189
- Les valeurs nominales d'une batterie 12 V 190
- L'entretien des batteries – consignes de sécurité 192
- Mesurer la tension d'une batterie 12V 193
- L'essai en charge d'une batterie 12 V 194
- Le test de conductance des batteries 12 V 195
- La recharge d'une batterie 12 V 197
- La batterie 36-48 V 199
- L'arrêt-démarrage : définition du stop-start 200
- Les systèmes stop-start 200
- Les micro-hybrides 203
- Diagnostic 207
- Les hybrides légers 209

RÉSUMÉ 213

QUESTIONS DE RÉVISION 214

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 214

## chapitre 10

# Les batteries haute tension 217

- Les batteries haute tension pour véhicules hybrides et électriques 218
- Les batteries NiMH 219
- Les batteries haute tension au lithium-ion 224
- L'architecture des cellules au lithium-ion 226
- Les types de batteries au lithium-ion 228
- Le refroidissement des véhicules hybrides et électriques 230
- Le refroidissement et le chauffage de la batterie haute tension 232
- La capacité de la batterie et son autonomie 235
- Les composants de contrôle de la batterie haute tension 237
- Le système de gestion de la batterie (BMS) 240
- Le système de distribution électrique (EDS) 240
- Le contrôle de la batterie haute tension d'un VHÉ 242
- La réparation d'une batterie au lithium-ion 244
- La réparation d'une batterie NiMH hors véhicule 246
- La dégradation et l'équilibrage de la batterie 247
- **SP5** Inspection et test d'une batterie de véhicule hybride ou électrique 250

RÉSUMÉ 252

QUESTIONS DE RÉVISION 253

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 253

## chapitre 11

# Les moteurs, les convertisseurs et les onduleurs pour VÉ et VHÉ 255

- L'électromagnétisme 256
- L'induction électromagnétique 259
- Le moteur électrique 261
- Les moteurs sans balais 264
- Le moteur à induction 265
- Le moteur synchrone à courant alternatif 266
- La commande du moteur électrique 269
- Les condensateurs dans les convertisseurs 274
- Les convertisseurs et onduleurs 278
- Le refroidissement de l'électronique 283
- Le diagnostic du moteur électrique, du convertisseur et de l'onduleur 285
- **SP6** Remplacement de l'onduleur-convertisseur 288

RÉSUMÉ 292

QUESTIONS DE RÉVISION 292

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 293

## chapitre 12

# La recharge des VÉ et VHR 295

- Les véhicules hybrides rechargeables (VHR) 296
- Les véhicules électriques 299
- La recharge de niveau 1 – Prise murale standard 302
- La recharge de niveau 2 – Borne de 7 kW 306
- La recharge rapide – Borne de 50 kW et plus 308
- **SP7** Recharge rapide 312
- Posséder et recharger un VÉ 313

RÉSUMÉ 318

QUESTIONS DE RÉVISION 319

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 319

## chapitre 13

# L'infrastructure de recharge des véhicules électriques 321

- L'infrastructure de recharge 322
- **SP8** Installation d'une borne de recharge à domicile 330
- La recharge sans fil par induction 332

RÉSUMÉ 334

QUESTIONS DE RÉVISION 334

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 334

## chapitre 14

### Le freinage régénératif 337

- Le freinage régénératif 338
- Les types de systèmes de freinage régénératif 343
- La conduite à une pédale 348
- La force de freinage 350
- L'entretien des systèmes de freinage régénératif 352

RÉSUMÉ 355

QUESTIONS DE RÉVISION 355

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 356

## chapitre 15

### La direction assistée électrique 359

- La direction assistée électrique 360
- Les pièces et leur fonctionnement 362
- Diagnostic de la direction assistée électrique 367

RÉSUMÉ 369

QUESTIONS DE RÉVISION 370

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 370

## chapitre 16

### Le chauffage, la ventilation et la climatisation des véhicules à motorisation électrique 373

- Le système de refroidissement des VHÉ 374
- Le chauffage de l'habitacle des VHÉ 376
- Le système de stockage de chaleur du liquide de refroidissement 381
- L'élément chauffant CTP 383
- Le refroidissement de l'habitacle du VHÉ 384
- Les composants de la climatisation d'un VHÉ 387
- Le chauffage des VÉ 395
- La pompe à chaleur 397

RÉSUMÉ 402

QUESTIONS DE RÉVISION 402

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 403

## chapitre 17

# Les transmissions des VÉ et VHÉ 405

- Les transmissions et boîtes-ponts 406
- Les principes en jeu 407
- Les pièces de transmissions de pouvoir pour VHÉ 409
- Le camion hybride parallèle GM (PHT) 410
- La transmission hybride bimode GM 412
- Le Ford/Lincoln 10R80 MHT 415
- Le répartiteur de puissance de Toyota et Lexus 418
- La transmission hybride eCVT de Toyota 429
- L'essieu arrière hybride électrique 430
- Diagnostic d'une transmission hybride 431
- Les transmissions des véhicules électriques 432

RÉSUMÉ 437

QUESTIONS DE RÉVISION 438

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 438

## chapitre 18

# Les aides à la conduite des VÉ et VHÉ 441

- Les systèmes avancés d'aide à la conduite 442
- L'interface homme-machine (IHM) 443
- Le système de surveillance des angles morts 444
- Les systèmes d'aide au stationnement 446
- L'alerte de franchissement de ligne 449
- L'aide au maintien dans la voie 451
- Le régulateur de vitesse adaptatif 452
- L'alerte de trafic transversal arrière 455
- Le freinage d'urgence automatique 456
- L'assistance au démarrage en pente 457
- Le système précollision 458
- Les caméras 460
- Le système LiDAR 462
- Diagnostic des aides à la conduite 463
- L'étalonnage des caméras et des radars 464
- Le fonctionnement d'un véhicule autonome 466
- Les six niveaux d'autonomie 468
- L'intelligence artificielle (IA) 471
- Les communications spécialisées à courte portée 472

RÉSUMÉ 473

QUESTIONS DE RÉVISION 474

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 474

## chapitre 19

# Les piles à combustible et autres technologies avancées 477

- La technologie des piles à combustible 478
- Le ravitaillement en hydrogène 484
- Les piles à combustible à méthanol direct 485
- Les systèmes spécifiques aux véhicules à pile à combustible 487
- La batterie haute tension des véhicules à pile à combustible 489
- Le stockage de l'hydrogène 490
- Les supercondensateurs 494
- Les boîtes-ponts des véhicules à pile à combustible 496
- L'allumage par compression de mélange homogène (HCCI) 499

RÉSUMÉ 501

QUESTIONS DE RÉVISION 502

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 502

## chapitre 20

# Les procédures pour premiers répondants 505

- Les procédures pour les premiers répondants sur les VÉ et les VHÉ 506
- Les éléments à vérifier sur les VÉ et VHÉ 508
- La sécurité des premiers intervenants 512
- Les risques d'électrocution 513
- Comment intervenir en cas d'urgence 514
- Comment intervenir auprès d'un véhicule en feu 516
- Questions relatives aux matières dangereuses 518
- Les véhicules immergés 519

RÉSUMÉ 520

QUESTIONS DE RÉVISION 521

TESTEZ VOS CONNAISSANCES 521

## SÉQUENCES PHOTOS

**SP 1** Vérification des gants à haute tension 36

**SP 2** Désamorçage de la haute tension d'une Chevrolet Bolt (méthode SANS analyseur-contrôleur) 47

**SP 3** Désamorçage de la haute tension d'une Chevrolet Bolt (méthode AVEC analyseur-contrôleur) 49

**SP 4** Configuration d'un oscilloscope 134

**SP 5** Inspection et vérification d'une batterie de véhicule hybride ou électrique 250

**SP 6** Remplacement de l'onduleur-convertisseur 288

**SP 7** Recharge rapide 312

**SP 8** Installation d'une borne de recharge à domicile 330

## Chapitre 10

# Les batteries haute tension

### COMPÉTENCES

Après avoir lu ce chapitre, vous serez en mesure de :

- Vérifier des batteries haute tension des véhicules hybrides et électriques.
- Décrire les batteries NiMH et leur usage dans les véhicules hybrides électriques.
- Expliquer le fonctionnement et les variantes de batteries haute tension au lithium-ion.
- Expliquer le rapport entre la capacité de la batterie et l'autonomie du véhicule.
- Expliquer la nécessité de refroidir ou de réchauffer les batteries haute tension.
- Connaître les composants qui contrôlent la batterie haute tension.
- Décrire l'objectif et le fonctionnement d'un système de gestion de la batterie (BMS).
- Discuter de la distribution électrique à bord d'un véhicule hybride ou électrique (EDS).
- Expliquer comment surveiller l'état de la batterie haute tension.
- Discuter des réparations de batterie lithium-ion autorisées par les constructeurs.
- Décrire la dégradation et l'équilibrage d'une batterie.

### MOTS-CLÉS

Autonomie officielle (WLTP, EPA, CLTC)	Nickel, cobalt et aluminium (NCA)
Cellule poche	Nickel, manganèse et cobalt (NMC)
Consommation équivalente (MPGe)	Phosphate de fer lithié (LiFePO <sub>4</sub> pour lithium fer phosphate)
Densité énergétique de la batterie	Relais principaux du système (SMR)
Équilibrage actif	Système de distribution électrique (EDS)
Équilibrage passif	Système de gestion de la batterie (BMS)
Hydruure métallique de nickel (NiMH)	
Module de contrôle de la batterie (BCM)	

# LES BATTERIES HAUTE TENSION POUR VÉHICULES HYBRIDES ET ÉLECTRIQUES

## OBJECTIF ET FONCTION

Les véhicules hybrides électriques (VHÉ) utilisent deux systèmes électriques de tensions différentes.

- Le système haute tension (HT) alimente le moteur de traction électrique.
- Le système 12 volts conventionnel alimente les accessoires et tous les autres aspects du fonctionnement du véhicule.

L'un des avantages de ce double système est que le véhicule peut utiliser n'importe quel accessoire électrique conventionnel.

**REMARQUE: Un VHÉ peut comporter trois systèmes fonctionnant à des tensions distinctes. Le VHÉ Toyota Highlander, par exemple, possède un système auxiliaire de 12 volts, un système de 42 volts pour la direction assistée électrique et un système de 288 volts pour la propulsion hybride.**

**Le Cybertruck de Tesla dispose d'un système auxiliaire de 48 volts au lieu de 12 volts, une tendance qui pourrait se généraliser à l'avenir.**

## EXIGENCES PROPRES AUX MOTEURS ÉLECTRIQUES

Les VÉ et les VHÉ utilisent des moteurs électriques à haut rendement pour propulser ou assister le véhicule. La puissance nominale de ces moteurs varie entre 10 et 50 kW pour les hybrides et jusqu'à 450 kW pour certains véhicules électriques, des quantités d'énergie électrique fort élevées. Si un système électrique classique de 12 volts alimentait ces moteurs, l'intensité nécessaire serait tellement importante que la section des câbles nécessaires à transmettre cette énergie les rendrait inutilisables. En outre, les bobinages des moteurs seraient très volumineux et très lourds. Les ingénieurs automobiles ont surmonté ce problème en augmentant la tension fournie aux moteurs, diminuant ainsi l'intensité qui doit circuler dans les câbles pour fournir la puissance voulue. (Voir la FAQ *Pourquoi les moteurs à haute tension consomment-ils moins de courant ?*) La diminution de l'intensité de courant circulant dans les câbles permet de réduire la section des câbles entre la batterie et le moteur, rendant plus pratique l'emplacement de la batterie à l'arrière du véhicule. ● **VOIR FIGURE 10-1.**

Les moteurs peuvent également être beaucoup plus compacts et plus puissants lorsqu'ils sont conçus pour fonctionner à des tensions plus élevées.

**FIGURE 10-1**

La batterie haute tension et les commandes du moteur situées derrière la banquette arrière d'une Honda Civic.



## LES BATTERIES NiMH

### UTILISATION

Seuls les anciens véhicules hybrides électriques utilisent encore la technologie des batteries **nickel-métal hydrure (NiMH)** pour la batterie haute tension. Avant la démocratisation du lithium-ion, les batteries NiMH étaient utilisées en raison de leurs caractéristiques de performance, telles que l'énergie spécifique, la durée de vie et la sécurité.

### DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT

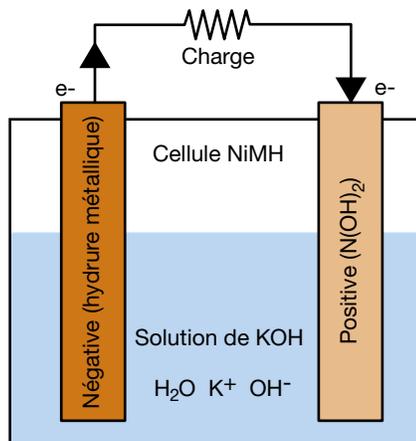
Les cellules NiMH disposent d'une électrode positive composée d'hydroxyde de nickel. L'électrode négative est particulière, en ce sens qu'il s'agit d'un alliage capable d'absorber de l'hydrogène, également connu sous le nom d'hydrure métallique. L'électrolyte est un liquide alcalin, généralement de l'hydroxyde de potassium (KOH). La tension nominale d'un élément de batterie NiMH est de 1,2 volt.

### ÉLECTROLYTE

Les piles rechargeables NiMH sont connues sous le nom de piles alcalines en raison de la nature alcaline (pH supérieur à 7) de l'électrolyte. L'électrolyte est une solution aqueuse d'hydroxyde de potassium. Ce liquide n'est pas corrosif pour les autres parties de la batterie et peut être scellé dans un conteneur en acier étanche. En outre, l'hydroxyde de potassium ne participe pas à la réaction chimique de la batterie, de sorte que la concentration de l'électrolyte reste constante, quel que soit l'état de charge. Ces facteurs permettent à la batterie NiMH d'atteindre une puissance élevée et une excellente durée de vie. Par contre, une batterie NiMH étant nettement plus lourde qu'une batterie au lithium, elle reste cantonnée aux applications de petite capacité. ● **VOIR FIGURE 10-2.**

**FIGURE 10-2**

Schéma d'une cellule NiMH. Son élément distinctif est l'électrode négative, qui est un alliage absorbant l'hydrogène. L'électrode positive est formée d'hydroxyde de nickel. L'électrolyte ne participe pas à la réaction chimique et peut maintenir une conductivité constante, quel que soit l'état de charge de la cellule.



## FONCTIONNEMENT PENDANT LA CHARGE

Pendant la charge de la batterie, les ions hydrogène (protons) se déplacent de l'électrode positive vers l'électrode négative, où ils sont absorbés par l'électrode en hydrure métallique. L'électrolyte ne participe pas à la réaction et sert uniquement de support aux ions hydrogène.

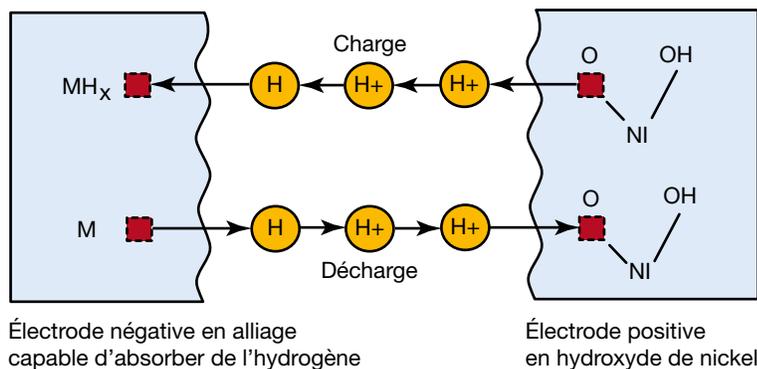
**NOTE: Un atome d'hydrogène est constitué d'un électron et d'un proton.**

## FONCTIONNEMENT PENDANT LA DÉCHARGE

Lorsque la batterie est déchargée, le processus s'inverse: les ions hydrogène (protons) se déplacent de l'électrode négative vers l'électrode positive. Le volume des électrodes change quelque peu au cours du processus de charge/décharge, mais cela reste très minime car seuls les protons sont échangés pendant le cycle. Grâce à ces faibles changements de densité, les électrodes demeurent très stables. C'est l'une des raisons pour lesquelles la batterie NiMH possède une très bonne durée de vie. ● VOIR FIGURE 10-3.

**FIGURE 10-3**

Réactions chimiques à l'intérieur d'une cellule NiMH. La charge et la décharge impliquent toutes deux un échange d'ions hydrogène (protons) entre les deux électrodes.



## AVANTAGES

Les batteries alcalines NiMH présentent un certain nombre d'avantages par rapport aux batteries au plomb qui les précédaient. Ces avantages sont notamment les suivants :

- Une énergie spécifique supérieure.
- L'électrode de nickel peut présenter une grande surface utile, ce qui augmente sa capacité.
- L'électrolyte ne réagit pas avec l'acier, de sorte que les cellules NiMH peuvent être empilées dans des contenants en acier scellés qui évacuent assez bien la chaleur.
- Les matériaux utilisés dans les batteries NiMH sont respectueux de l'environnement et se recyclent aisément.
- Une excellente durée de vie.
- Robustes et sûres.



### FAQ

#### Pourquoi les moteurs à haute tension consomment-ils moins de courant ?

Il faut garder à l'esprit qu'un moteur électrique est alimenté en watts. Chaque moteur électrique est évalué en fonction de la puissance (en watts) qu'il consomme. On calcule la puissance à l'aide de la formule suivante :

$$P = E \times I$$

ou

$$\text{Puissance (en watts)} = \text{Tension (en volts)} \times \text{Courant (en ampères)}$$

Prenons l'exemple d'un moteur électrique d'une puissance de 144 watts. Il consomme 12 ampères sous une tension de 12 volts ( $12 \text{ V} \times 12 \text{ A} = 144 \text{ W}$ ). Si ce même moteur était alimenté sous 6 volts, il consommerait 24 ampères pour développer la même puissance. Cette augmentation d'intensité nécessiterait un câble beaucoup plus gros pour transmettre efficacement le courant électrique et minimiser la chute de tension. Les enroulements du moteur devraient également être beaucoup plus lourds pour supporter cette augmentation de courant. Imaginons que ce même moteur soit alimenté par une batterie de 144 volts. Nous n'avons plus besoin que d'un ampère de courant électrique pour faire fonctionner le moteur ( $144 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 144 \text{ W}$ ). Un câble beaucoup plus fin est suffisant pour laisser passer ce courant ; il sera désormais plus facile de faire courir les câbles sur toute la longueur de la voiture sans perte de puissance significative. De même, le moteur électrique peut être beaucoup plus petit et plus efficace si le courant nécessaire pour l'alimenter est plus faible. Certains véhicules hybrides sont dotés de moteurs qui fonctionnent jusqu'à 650 volts afin d'augmenter le rendement du système.

## INCONVÉNIENTS

Les inconvénients de la batterie NiMH sont les suivants :

- Un taux élevé d'autodécharge, en particulier à des températures élevées.
- Un effet de mémoire modéré, bien qu'il semble moins important dans les nouveaux modèles.
- Une densité énergétique inférieure à celle des batteries au lithium.
- Un coût modéré à élevé.

## CELLULES NiMH

Il existe deux types de cellules NiMH :

- 1. Cellules cylindriques.** Pour construire une cellule cylindrique, on met en forme les matériaux actifs sous forme de longs rubans disposés en spirale à l'intérieur d'un boîtier cylindrique en acier. Une couche d'électrode négative est superposée à une couche d'électrode positive avec, comme intermédiaire, une feuille de séparation poreuse imbibée d'électrolyte. Le tout est enroulé, puis l'électrode négative est reliée au boîtier en acier, tandis que l'électrode positive est connectée à la borne (+) située au centre du sommet de la batterie. Un évent de sécurité auto-obturant situé au sommet du boîtier de la batterie évacue la pression interne en cas de surcharge, de court-circuit, d'inversion de charge ou d'autres abus. Les piles cylindriques sont souvent construites de manière très similaire à une pile «D» conventionnelle. Il est courant de regrouper les cellules cylindriques dans des modules de six cellules



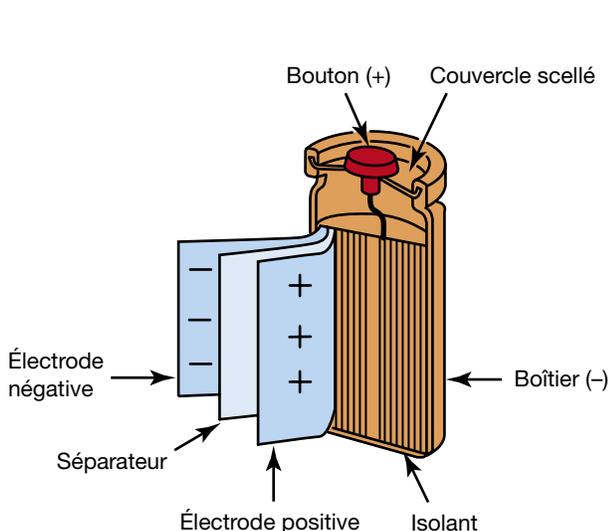
### FAQ

#### **Quelle est la différence entre une batterie alcaline et une batterie plomb-acide ?**

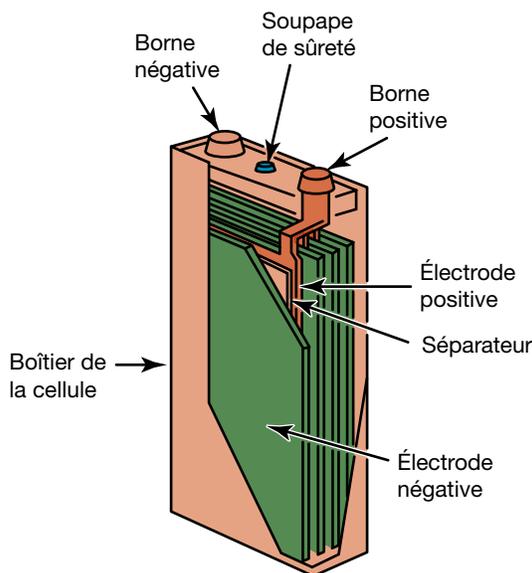
L'électrolyte est le liquide qui permet la circulation des ions entre les électrodes positives et négatives de la batterie. L'électrolyte des batteries plomb-acide est l'acide sulfurique. Les acides présentent un pH inférieur à 7, alors que l'eau pure a un pH de 7 exactement. En cas de fuite d'électrolyte d'une batterie plomb-acide, on peut neutraliser l'acide avec une solution de bicarbonate de soude et d'eau (une solution alcaline). Dans les batteries NiMH, l'électrolyte utilisé est l'hydroxyde de potassium, caractérisé par un pH supérieur à 7, ce qui le distingue des acides. Cet électrolyte est donc alcalin, ou basique. En cas de fuite, pour neutraliser l'électrolyte, on peut employer une solution d'eau et de vinaigre, ce dernier étant acide. Les batteries nickel-cadmium (NiCd) et nickel-hydrure métallique (NiMH) appartiennent à la catégorie des piles alcalines.

connectées en série. On obtient ainsi un seul module de batterie d'une tension de 7,2 volts. Ces modules peuvent ensuite être eux-mêmes branchés en série pour constituer des batteries de tension plus élevée. ● **VOIR FIGURE 10-4.**

**2. Cellules prismatiques.** Une cellule prismatique est rectangulaire et se présente sous la forme d'une boîte dans laquelle les matériaux actifs sont des plaques plates rangées côte à côte, comme dans une batterie plomb-acide conventionnelle. Les plaques positives et négatives sont placées alternativement dans le boîtier de la cellule, et reliées par des languettes. Un matériau de séparation poreux est inséré entre les plaques pour éviter qu'elles ne se touchent, tout en permettant à l'électrolyte de circuler librement. ● **VOIR FIGURE 10-5.**



**FIGURE 10-4** Un boîtier cylindrique scellé en acier inoxydable protège les cellules cylindriques NiMH.



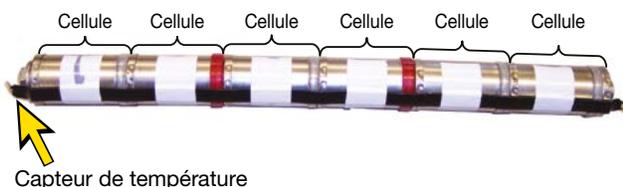
**FIGURE 10-5** Une cellule prismatique NiMH contient des empilements de plaques plates et de séparateurs, comme les batteries au plomb-acide conventionnelles.

## ÉLÉMENTS DE LA BATTERIE MONTÉS EN SÉRIE

La chimie des cellules utilisées impose des contraintes aux concepteurs de batteries. Dans le cas des batteries NiMH, chaque cellule produit 1,2 volt en valeur nominale. On doit utiliser des multiples de 1,2 volt pour construire une batterie haute tension suivant cette technologie. Pour construire une batterie de Toyota Prius de 201,6 volts, on connecte 168 cellules NiMH en série ( $168 \times 1,2 \text{ V}$ ). Il est évident que plus la tension de sortie de la batterie est élevée, plus le nombre de cellules individuelles est important. ● **VOIR FIGURES 10-6, 10-7 ET 10-8.**

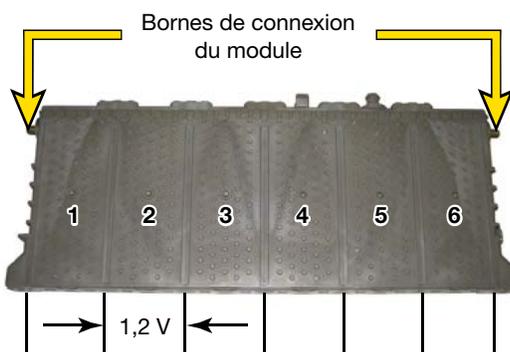
### FIGURE 10-6

La tension de chaque cellule mesure 1,2 volt. Un module de six cellules en série présente donc une tension de 7,2 volts. Plusieurs de ces modules peuvent être connectés en série pour former une batterie haute tension.



**FIGURE 10-7**

Module NiMH prismatique d'une batterie haute tension de la Toyota Prius. Les bornes de la batterie se situent sur les faces latérales du module. Un évent auto-obturant dans la partie supérieure droite évacue l'hydrogène gazeux en cas de surchauffe du module.



**FIGURE 10-8**

Une Toyota Camry hybride est équipée d'une batterie NiMH haute tension de 244 volts, composée de 204 cellules organisées en 34 modules, chacun délivrant 7,2 volts.



## LES BATTERIES HAUTE TENSION AU LITHIUM-ION

### UTILISATION

La technologie lithium-ion (Li-ion) représente une solution de choix pour les VÉ et VHÉ. Depuis les années 1990, les batteries lithium-ion dominent le secteur de l'électronique grand public et constituent actuellement la principale source d'alimentation pour presque tous les véhicules électriques et hybrides rechargeables.

### DESCRIPTION

La cellule lithium-ion tient son nom du fait que pendant le cycle de la batterie, les ions lithium vont et viennent entre les électrodes positives et négatives. L'énergie spécifique des cellules lithium-ion correspond environ à deux fois celle du NiMH. Grâce à la recherche, la densité énergétique de ce type de batterie s'accroît d'année en année.

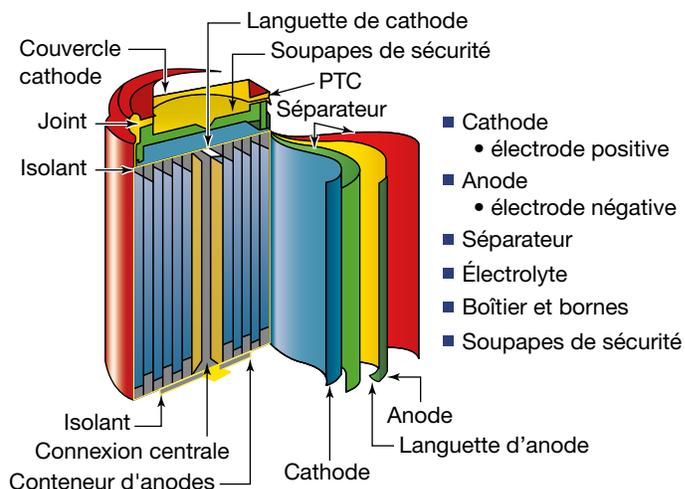
### CONSTRUCTION

L'électrode positive d'une batterie lithium-ion conventionnelle contient de l'oxyde de lithium et de cobalt comme ingrédient principal, l'électrode négative étant fabriquée à partir de graphite, une variété de carbone. L'électrolyte qui imbibe la couche séparatrice entre les deux plaques d'électrodes est un solvant organique. Pour éviter la rupture de la batterie et garantir la sécurité, une soupape de décompression intégrée au boîtier de la batterie libère du gaz si la pression interne dépasse un seuil prédéfini. ● **VOIR FIGURE 10-9.**

## FIGURE 10-9

Architecture d'une cellule lithium-ion cylindrique.

Notez la soupape de décompression et l'orifice d'évacuation du gaz qui permet de réduire la pression interne de la batterie en cas de surchauffe.



## FONCTIONNEMENT

La cellule lithium-ion est conçue de manière que les ions lithium puissent circuler entre les électrodes lorsque la batterie est en fonctionnement.

1. Pendant la décharge de la batterie, les ions lithium quittent l'anode (l'électrode négative), traversent l'électrolyte et le séparateur, puis se logent à la surface de la cathode (l'électrode positive).
2. Pendant la charge, les ions lithium quittent la cathode, traversent le séparateur et l'électrolyte, puis reviennent dans l'anode.

## AVANTAGES

Les batteries lithium-ion présentent les avantages suivants :

- une énergie spécifique élevée ;
- une bonne performance à haute température ;
- une faible autodécharge ;
- un effet mémoire minimal ;
- une tension nominale élevée par cellule : 3,6 volts, soit trois fois celle des cellules NiMH. On peut donc construire des batteries haute tension en connectant moins de cellules en série.

## INCONVÉNIENTS

Les inconvénients de la batterie lithium-ion sont les suivants :

- un coût élevé, quoique décroissant avec le temps ;
- des risques de surchauffe de la batterie en cas de surcharge.

**REMARQUE : Les premières batteries lithium-ion ont souffert de problèmes d'emballement thermique, qui ont conduit à des incendies et même à des explosions. Les batteries lithium-ion utilisées dans les automobiles comportent des systèmes de refroidissement et de sécurité qui empêchent la surchauffe et isolent les cellules défaillantes.**



**1** Pour désactiver le système haute tension, coupez le contact, débranchez le câble négatif de la batterie auxiliaire 12 V, puis retirez la fiche de sécurité de la batterie haute tension.



**2** Après avoir vérifié que la tension résiduelle est bien dissipée, retirez le siège arrière et le couvercle de la batterie HT. Suivez toujours les consignes de sécurité spécifiées par le constructeur du véhicule.



**3** Retirez les fils haute tension de la batterie en portant l'ensemble de gants isolants.



**4** Retirez la batterie HT par l'arrière du véhicule.



**5** Placez la batterie HT sur un établi en bois ou recouvert d'un épais tapis isolant en caoutchouc.



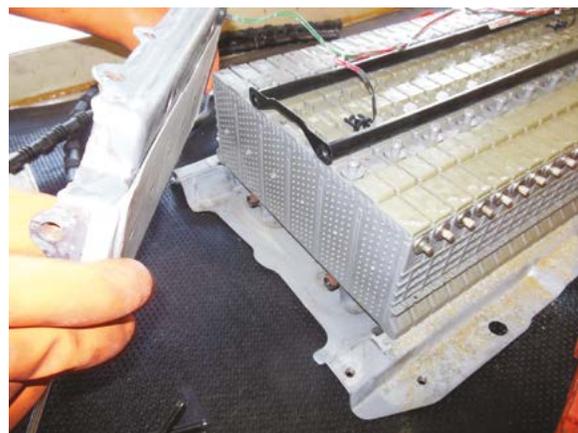
**6** Une inspection visuelle montre de la corrosion sur de nombreuses connexions électriques à l'extrémité des modules.



**7** Retirez les capteurs de température du bloc-batterie haute tension.



**8** Retirez les tubes de mise à l'air libre de la batterie haute tension.



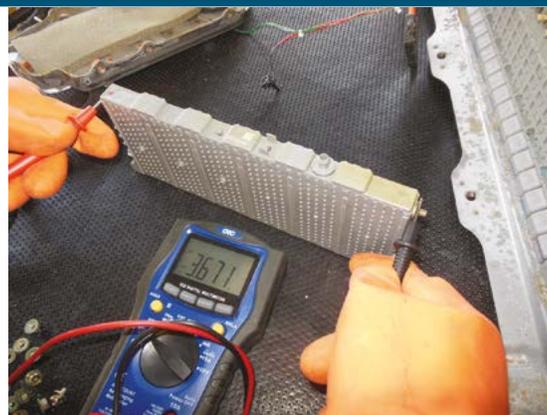
**9** Retirez les capots d'extrémité de la batterie.



**10** Retirez les boulons de fixation des modules sur la base du bloc-batterie.



**11** Retirez le premier module à l'extrémité de la batterie pour la mesurer avec un voltmètre.



**12** Dans cet exemple, la tension mesurée sur la plupart des modules est d'environ 3,6 V, loin en dessous du minimum de 5,4 V sous lequel, d'après les experts, le module n'est pas récupérable par simple recharge.

- De nombreux anciens véhicules hybrides électriques encore en circulation utilisent la technologie NiMH (nickel-métal hydrure) pour la batterie haute tension.
- Dans une cellule cylindrique, les matériaux actifs sont constitués de longs rubans disposés en spirale à l'intérieur d'un boîtier cylindrique scellé en acier.
- Une cellule prismatique est en forme de boîte à cigares rectangulaire dans lequel les matériaux actifs se présentent sous forme de plaques plates rangées côte à côte comme dans une batterie plomb-acide classique.
- De nombreux véhicules hybrides électriques actuellement en circulation utilisent le refroidissement par liquide pour contrôler la température de la batterie HT.
- Une cellule lithium-ion est nommée ainsi parce qu'à chaque cycle de charge-décharge, les ions lithium font des aller-retours entre les électrodes positives et négatives.
- La consommation d'un véhicule électrique se mesure en kilowattheures par 100 kilomètres (kWh/100 km).
- Les relais principaux du système (SMR) sont des relais de puissance qui connectent et déconnectent la batterie HT des autres composants du système.
- Le câblage basse tension (BT) alimente les modules électroniques et transmet les communications entre la batterie et le reste du véhicule par un ou plusieurs bus CAN.
- La durée de vie utile de la plupart des batteries haute tension dépasse celle du véhicule.
- Pour garantir la longévité de la batterie et éviter surchauffes et risques d'incendie, le BMS doit équilibrer les cellules de façon rigoureuse, soit passivement, soit activement.

## QUESTIONS DE RÉVISION

1. Pourquoi les batteries haute tension doivent-elles être chauffées si elles sont froides ou refroidies si elles sont chaudes ?
2. Quelle est la fonction principale du système de distribution électrique (EDS) ?
3. Quelles sont les étapes à suivre pour réparer les modules défaillants d'une batterie haute tension ?
4. Que se passe-t-il si l'état de charge dépasse 80 % ?

## TESTEZ VOS CONNAISSANCES

1. Le système de 12 volts utilisé dans les VHÉ et VÉ sert à \_\_\_\_\_.
  - a. fournir une source de haute tension par l'intermédiaire d'un convertisseur CC-CC
  - b. alimenter tous les accessoires et autres aspects du fonctionnement du véhicule, à l'exception de la propulsion
  - c. À la fois a et b
  - d. Ni a ni b
2. La tension nominale d'une cellule de batterie NiMH est de \_\_\_\_\_.
  - a. 1,2 volt
  - b. 3,2 volts
  - c. 3,6 volts
  - d. 4,8 volts
3. La tension nominale d'une cellule de batterie lithium-ion est de \_\_\_\_\_.
  - a. 1,2 volt
  - b. 3,2 volts
  - c. 3,6 volts
  - d. 4,8 volts
4. Les constructeurs automobiles utilisent plusieurs matériaux de cathode différents, notamment \_\_\_\_\_.
  - a. le nickel, le manganèse et le cobalt (NMC)
  - b. le nickel, le cobalt et l'aluminium (NCA)
  - c. le phosphate de fer lithié (LiFePO<sub>4</sub>)
  - d. Toutes ces réponses

5. Les cellules lithium-ion peuvent être \_\_\_\_\_.
- cylindriques
  - prismatiques en boîtier dur
  - prismatiques en poche souple
  - Toutes ces réponses
6. \_\_\_\_\_ est chargé de contrôler le fonctionnement de la batterie haute tension en fonction des demandes du module de commande hybride.
- Le module de contrôle de la batterie (BCM)
  - Les relais principaux du système (SMR)
  - Le système de gestion de la batterie (BMS)
  - Le système de distribution électrique (EDS)
7. Pendant le fonctionnement normal d'un véhicule hybride électrique, l'état de charge préférentiel est de \_\_\_\_\_.
- 100 %
  - 60 %
  - 70 %
  - 80 %
8. Dans un système à trois SMR, un SMR connecte la borne positive de la batterie et deux SMR connectent la borne négative. Du côté négatif, un SMR est en série avec \_\_\_\_\_.
- un condensateur
  - une résistance
  - une diode
  - une bobine d'induction
9. Pendant le fonctionnement normal du véhicule, les cycles de charge et de décharge de la batterie haute tension d'un véhicule hybride électrique sont surveillés et contrôlés par \_\_\_\_\_.
- le module de contrôle de la batterie (BCM)
  - les relais principaux du système (SMR)
  - le système de gestion de la batterie (BMS)
  - le système de distribution électrique (EDS)
10. La fonction principale du \_\_\_\_\_ est de gérer le fonctionnement de la batterie haute tension en fonction des demandes du module de commande moteur.
- module de commande de la batterie (BCM)
  - relais principaux du système (SMR)
  - système de gestion de la batterie (BMS)
  - système de distribution électrique (EDS)