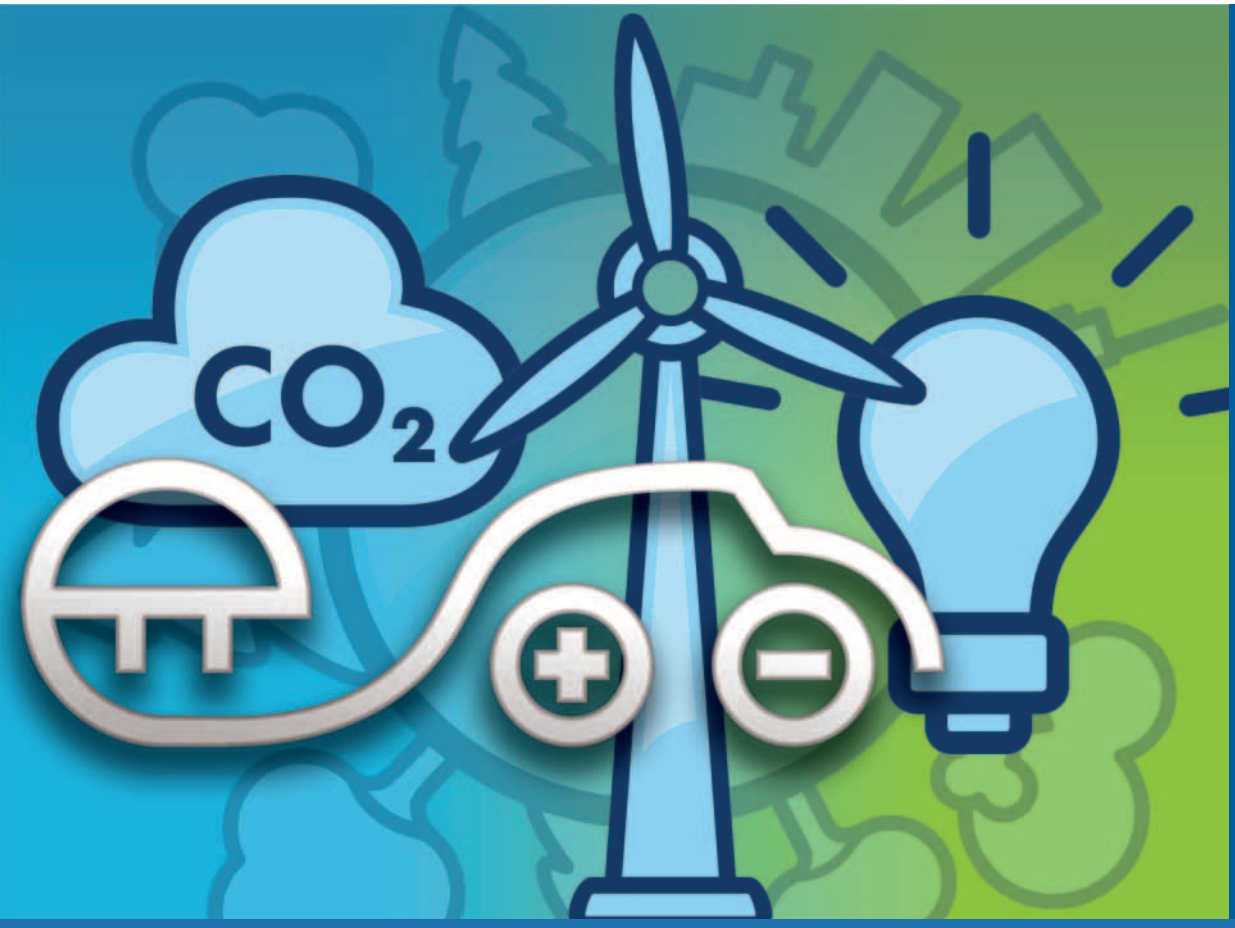
Service Training

Programme autodidactique 499

Connaissances de base en propulsion électrique automobile

Conception et fonctionnement



Selon les évaluations actuelles, l'année 2050 marquera la fin de l'exploitation du pétrole telle que l'humanité l'a pratiquée jusqu'à présent. Au-delà de cette date, l'extraction pétrolière ne sera plus possible qu'au prix de très grandes difficultés techniques. C'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser les ressources à bon escient et de manière efficace. Ce travail de sensibilisation et de prise de conscience est au cœur du concept « Think Blue! ». L'utilisation de l'énergie et des matières premières doit être constamment optimisée.
L'impact sur l'environnement doit être constamment réduit dans la même mesure. L'objectif consiste à empêcher un réchauffement climatique de plus de 2 °C d'ici l'année 2050. Pour atteindre cet objectif, il faut juguler les émissions de gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone (CO_2).

À la différence des véhicules équipés d'un moteur à combustion interne, les véhicules à propulsion électrique ne rejettent pas de gaz d'échappement durant la conduite. Cette caractéristique suffit à rendre un véhicule électrique plus écologique qu'un véhicule conventionnel. Cela suppose toutefois que l'énergie électrique utilisée pour recharger le véhicule provienne d'une source renouvelable, comme une installation éolienne, solaire, hydraulique ou au biogaz. Un autre aspect concerne les coûts énergétiques aux 100 km, qui sont plus faibles pour un véhicule électrique que pour un véhicule conventionnel.

D'ici 2020, au moins un million de véhicules électriques doivent être mis en circulation sur les routes d'Allemagne. En adoptant en août 2009 le plan national de développement de l'électromobilité (Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität – NEPE), le gouvernement fédéral allemand a souligné l'importance de cette thématique pour le pays. L'électrification des véhicules va donc progresser de manière continue. La première étape est représentée par les véhicules hybrides, qui combinent les avantages des moteurs électriques et ceux des moteurs à combustion interne.
La combinaison de ces modes de propulsion permet d'améliorer le rendement énergétique global du véhicule et de réduire la consommation de carburant.

Avec le Touareg 2011, Volkswagen propose un véhicule de série à propulsion hybride électrique. Cette nouvelle technologie nécessite une formation spécifique à la manipulation et à la réalisation de travaux sur les véhicules haute tension. Le présent Programme autodidactique décrit les concepts réalistes actuels en matière d'hybridation et d'électromobilité, et présente les connaissances de base de la qualification haute tension destinée au personnel chargé du Service.

Attention
Remarque

Le programme autodidactique présente la conception et le fonctionnement des innovations techniques !
Les contenus ne sont pas mis à jour.

Veuillez vous reporter à la documentation SAV d'actualité pour tout ce qui a trait aux instructions correspondante.

En un coup d'œil

Introduction **4**

Histoire de l'électromobilité. 4
Pourquoi l'électromobilité est-elle intéressante ?. 8

Connaissances de base en électromobilité. **14**

Typologie des véhicules électriques 14
Les principaux composants d'un véhicule électrique. 16
Configurations de la chaîne cinématique. 28

Concepts de véhicules **30**

Aperçu des différentes combinaisons de modes de propulsion 30
Le Touareg Hybrid (HEV) 31
La Golf 6 TwinDrive (PHEV) 33
La Golf blue-e-motion (BEV) 36
L'Audi A1 e-tron (RXBEV) 38
Le Tiguan HyMotion (FCBEV) 40

Sécurité haute tension. **42**

Que signifie « haute tension » ? 42
Quels sont les dangers liés à la manipulation de systèmes haute tension ? . 42

Qualification haute tension **50**

Remarques fondamentales 50
Les trois piliers de la qualification. 51
Passages à l'atelier 56

Perspectives pour le Service. **60**

Histoire de l'électromobilité

L'électromobilité est un thème qui a toujours accompagné le développement des véhicules à moteur. Si son importance a reculé par moments tant les gisements de pétrole semblaient inépuisables, la prise de conscience du caractère tarissable des ressources en pétrole et de l'exigence d'une protection de l'environnement et du climat à l'échelle planétaire lui confère une place toujours plus importante.

1821
Thomas Davenport construit la première voiture électrique équipée d'une batterie non rechargeable et présentant une autonomie de 15 à 30 kilomètres.

1881
Le premier véhicule électrique homologué est un tricycle conçu par M. Gustave Trouvé à Paris. Avec son accumulateur au plomb rechargeable, sa vitesse peut atteindre 12 km/h.

1898
Au tournant du siècle (de 1893 à 1906), la société fondée par Charles Jeantaud à Paris est le leader du véhicule électrique.
L'un de ses véhicules établit un record de vitesse en atteignant 37,7 km/h.

1902
Pionnier de l'électromobilité suisse, A. Tribelhorn construit le premier véhicule à moteur électrique. Sur une période d'environ 20 ans, son entreprise produit essentiellement des véhicules utilitaires à propulsion électrique, les voitures particulières n'étant fabriquées qu'en petit nombre et le plus souvent à titre de prototype.

1860
Invention de l'accumulateur au plomb rechargeable.

1882
Cette année-là, Werner von Siemens construit une calèche à propulsion électrique. Ce véhicule, également appelé « Elektro-Motte » ou « Elektromote », est considéré comme le premier trolleybus du monde.

1900
Ferdinand Porsche présente à l'Exposition universelle de Paris un véhicule équipé de deux moteurs-roues intégrés chacun dans une roue de l'essieu avant.

1913
La première station-service ouvre à Pittsburgh (États-Unis). Bientôt, toutes les villes sont équipées de stations-service. De meilleures infrastructures, l'essence bon marché ainsi que la poursuite du développement des moteurs à combustion interne et leur autonomie plus importante sont autant d'atouts qui expliquent le plébiscite des véhicules équipés de moteurs à combustion interne.

1960
Le Dr Charles Alexander Escoffery, présente ce qui était peut-être la première automobile solaire du monde. Il s'agit d'une Baker Electric de 1912 immatriculée en Californie, équipée d'un panneau photovoltaïque composé de 10 640 cellules individuelles.

1973
La première crise pétrolière fait prendre conscience aux pays industrialisés de leur dépendance vis-à-vis des pays exportateurs de pétrole. Le prix du carburant augmente considérablement.

1987
Cette année-là a lieu le « World Solar Challenge », un concours de véhicules solaires.

1992
Le groupe automobile Volkswagen AG développe la VW Golf Citystromer, une Golf modifiée dotée d'un moteur électrique.

1996
General Motors propose le coupé électrique deux places « EV 1 » (Electric Vehicle 1) doté de batteries au plomb-acide de 500 kg. Plus tard, l'utilisation de batteries au nickel-métal-hydrure permettra d'augmenter la puissance du véhicule.

1969
Le « Lunar Rover » est mis au point pour le programme américain d'exploration lunaire. Il est doté d'un moteur électrique par roue. Il puise son énergie dans deux batteries à l'argent-zinc, qui donnent au « Lunar Rover » une autonomie d'environ 92 km.

1985
La première course mondiale d'automobiles à propulsion solaire, le « Tour de Sol », se déroule en Suisse.

1991
La THINK est l'une des premières autos conçues comme un véhicule purement électrique, et non un véhicule conventionnel modifié.

1995
De 1995 à 2005, PSA Peugeot Citroën construit 10 000 véhicules électriques.

2008
Le »Tesla Roadster« à propulsion entièrement électrique de la société Tesla Motors arrive sur le marché américain avec 6 187 batteries d'ordinateur portable montées en série. Il accélère de 0 à 100 km/h en 3,8 secondes.

2009
Le gouvernement allemand adopte le plan national de développement de l'électromobilité (Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität – NEPE).
L'objectif de ce plan est de promouvoir, en Allemagne, la recherche et le développement, la préparation du marché et le lancement de véhicules propulsés par des batteries électriques. D'ici 2020, le marché allemand doit compter 1 million de véhicules électriques et l'Allemagne doit devenir le marché phare de l'électromobilité.

Introduction

Histoire de l'électromobilité chez Volkswagen

En matière d'électromobilité, VW peut se prévaloir d'une expérience longue de 40 ans.
Dès 1970, le « T2 Electric » représentait la première génération de véhicules purement électriques.

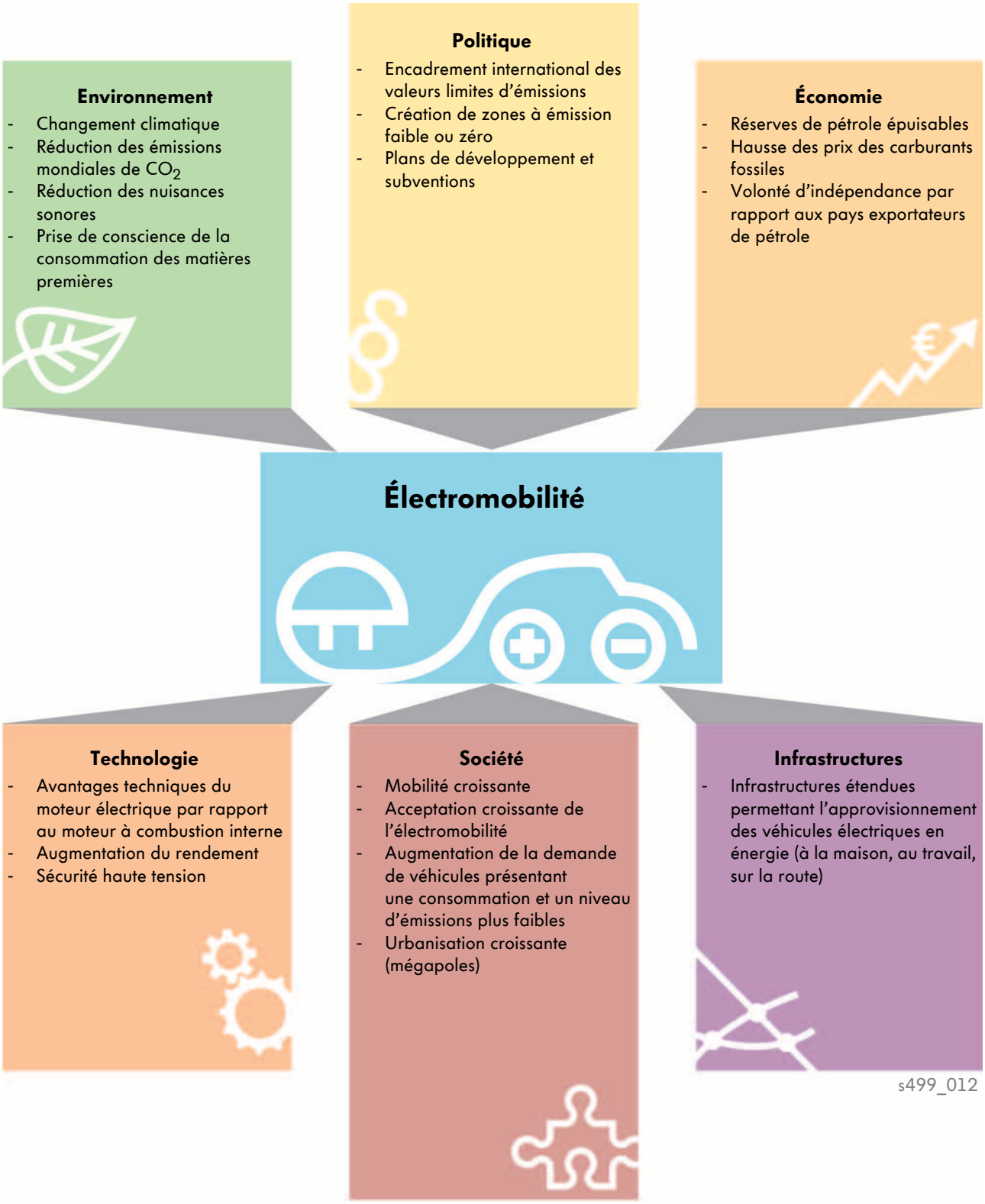
Golf TwinDrive
Milano Taxi
E-up!
Golf blue-e-motion
995
2000
2010
2015
Golf ECO Power
Touareg Hybrid
Tiguan HyMotion
Bora HyMotion
Bora HyPower
Touran HyMotion

s499_018

Pourquoi l’électromobilité est-elle intéressante ?

Afin de prendre en compte tous les aspects essentiels de l’électromobilité, nous aborderons les domaines de l’environnement, de la politique, de l’économie, de la société, des infrastructures et de la technique. Toutefois, il n’est pas possible de séparer complètement les contenus de ces différents domaines, car il existe entre eux un maillage de relations complexe.
Le changement climatique et les conditions régissant l’utilisation des énergies fossiles (disponibilité réduite, prix) entraînent une modification des politiques climatique et énergétique des États et le changement des sociétés qui les composent.
La politique répond à ces changements en fixant des valeurs limites d’émissions sur un plan national, qui diffèrent malheureusement sur un plan international. Ces valeurs limites portent en général sur des émissions directes de CO_2 ou d’autres gaz exerçant une influence sur l’environnement.
Un véhicule électrique ne produit aucune émission directe sous forme de CO_2.

L’introduction dans les villes de zones à faible émission ou à émission zéro ainsi que l’évolution du cadre politique vont accélérer le développement de l’électromobilité. Les mesures incitatives sur un plan national ou communal stimulent l’économie et encouragent la recherche et le développement scientifiques dans ce domaine. Un nombre toujours croissant d’entreprises investissent dans l’électromobilité et favorisent ainsi, en coopération avec la recherche, la poursuite du développement de concepts existants, les innovations technologiques et les domaines d’application futurs de ces dernières.


Environnement
- Changement climatique
- Réduction des émissions mondiales de CO_2
- Réduction des nuisances sonores
- Prise de conscience de la consommation des matières premières
Politique
- Encadrement international des valeurs limites d'émissions
- Création de zones à émission faible ou zéro
- Plans de développement et subventions
Économie
- Réserves de pétrole épuisables
- Hausse des prix des carburants fossiles
- Volonté d'indépendance par rapport aux pays exportateurs de pétrole
Électromobilité
Technologie
- Avantages techniques du moteur électrique par rapport au moteur à combustion interne
- Augmentation du rendement
- Sécurité haute tension
Société
- Mobilité croissante
- Acceptation croissante de l'électromobilité
- Augmentation de la demande de véhicules présentant une consommation et un niveau d'émissions plus faibles
- Urbanisation croissante (mégapoles)
Infrastructures
- Infrastructures étendues permettant l'approvisionnement des véhicules électriques en énergie (à la maison, au travail, sur la route)

s499_012

Introduction

Avantages de l’électromobilité

- La propulsion électrique (motogénérateur électrique) fonctionne à un niveau sonore nettement plus faible que celle à moteur à combustion interne. Les émissions sonores d’un véhicule électrique sont par conséquent très réduites. À une vitesse soutenue, c’est le bruit de roulement des pneus qui prédomine sur ces véhicules.

- Lorsqu'il roule, un véhicule électrique n’émet ni polluants ni gaz à effet de serre. Si la batterie haute tension est rechargée grâce à des sources d’énergie renouvelables, le véhicule électrique peut fonctionner sans aucun rejet de CO_2.

- Si, dans un proche avenir, des centre-villes faisant l’objet un trafic automobile particulièrement intense sont déclarés zones à émission zéro, seuls les véhicules haute tension seront autorisés à y circuler.

- Le motogénérateur électrique est très robuste et exige peu d’entretien. Il n’est soumis qu’à une faible usure mécanique.

- Le motogénérateur électrique présente un rendement élevé, pouvant atteindre 96 %, alors que le rendement d’un moteur à combustion interne est de l’ordre de 35–40 %.

- Le motogénérateur électrique présente des courbes caractéristiques de couple et de puissance intéressantes. Il développe son couple maximum dès le démarrage. C’est la raison pour laquelle, à puissance égale, un véhicule électrique peut accélérer nettement plus vite qu’un véhicule équipé d’un moteur à combustion interne.

- La conception de la chaîne cinématique est plus simple, car elle se passe de composants tels que la boîte de vitesses, l’embrayage, le silencieux, le filtre à particules, le réservoir à carburant, le démarreur, l’alternateur ou les bougies d’allumage.

- Lors du freinage, le moteur peut fonctionner en mode générateur, produisant du courant et rechargeant la batterie (récupération).

- Possibilité de recharger commodément la batterie haute tension directement au domicile, dans un parking lorsqu’on est en déplacement et sur n’importe quelle prise de courant accessible. La fiche de recharge bleue du véhicule et celle de la borne de recharge publique sont normalisées à l’échelle de l’Allemagne, elles ne sont pas spécifiques à un constructeur.

- L’énergie n’est mise à disposition que lorsque l’utilisateur en a besoin. Contrairement au moteur des véhicules conventionnels, le motogénérateur électrique ne fonctionne jamais lorsque le véhicule est arrêté à un feu rouge. Le motogénérateur électrique offre notamment une efficacité élevée en cas de circulation en colonnes ou en accordéon.

- À l’exception du réducteur du motogénérateur électrique, le véhicule électrique n’a pas besoin d’huile lubrifiante.

Inconvénients des véhicules électriques

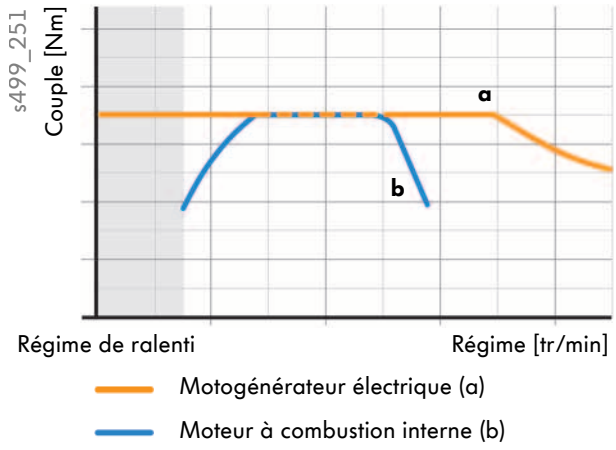
- Les véhicules électriques ont une autonomie limitée. L'énergie électrique doit être stockée en quantité suffisante dans une batterie haute tension de technologie moderne. C'est cette quantité d'énergie qui détermine l'autonomie du véhicule électrique.

- Lorsqu'une batterie haute tension entièrement déchargée doit être entièrement rechargée et qu'on ne dispose que de la capacité de charge minimale, le processus de charge peut durer jusqu'à 7,5 heures.

- La possibilité de recharger le véhicule électrique dans un lieu public n'est qu'en phase de préparation. Le réseau de bornes de recharge électriques est peu développé.

- Si la destination se situe au-delà de l'autonomie maximale du véhicule électrique, le conducteur doit planifier son trajet. « Où puis-je recharger mon véhicule électrique en cours de route ? »

Comparatif des courbes de couple



Motogénérateur électrique

Le motogénérateur électrique (a) atteint son couple maximal dès sa première rotation. Il n'a besoin d'aucune phase de démarrage pour atteindre son régime de ralenti. Lorsque le régime augmente, le couple disponible diminue à partir d'une valeur de régime définie.
Cette valeur se situe à env. 14 000 tr/min.
Ces caractéristiques du motogénérateur électrique permettent en outre de se passer de l'organe complexe qu'est la boîte de vitesses.

Moteur à combustion interne

Pour produire un couple, le moteur à combustion interne (b) doit atteindre son régime de ralenti. Si l'on augmente le régime moteur, le couple augmente. L'augmentation du régime moteur entraîne l'augmentation du couple disponible. De plus, cette caractéristique du moteur à combustion interne rend nécessaire l'utilisation d'une boîte de vitesses comprenant plusieurs rapports de démultiplication. Le couple est transmis aux pignons de boîte de vitesses par l'intermédiaire d'un embrayage ou d'un convertisseur de couple.

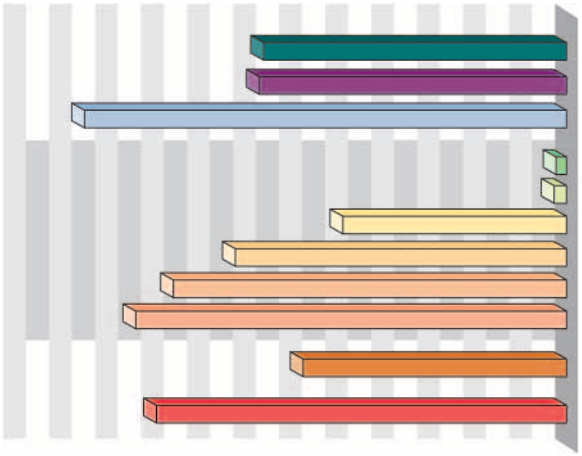
Aspects environnementaux

Émissions de CO_2

D'ici à l'année 2050, le réchauffement planétaire ne doit pas dépasser la valeur de 2 °C par rapport à la température de la Terre à l'époque préindustrielle. Cet objectif ne peut être atteint que grâce à une réduction des émissions de CO_2. Le but est de réduire les émissions de CO_2 par habitant de 45 tonnes par an actuellement, à 0,7 tonne par an d'ici 2050.

Les véhicules électriques ne produisent aucune émission directe de CO_2. L'empreinte de carbone ne porte toutefois pas uniquement sur le véhicule, mais également sur les émissions dues à la production du courant électrique (par ex. dans les centrales au charbon).

En Allemagne notamment, l'électromobilité est étroitement liée à l'utilisation de « courant propre » (c'est-à-dire issu d'énergies renouvelables). Par conséquent, on peut dès aujourd'hui partir du principe qu'un véhicule électrique, avec le mix électrique actuel, produit moins d'émissions de CO_2 qu'un véhicule équipé d'un moteur à combustion interne. Sur un plan international, l'examen des mix électriques est moins flatteur. Les pays émergents, comme la Chine ou l'Inde, misant avant tout sur le courant issu du charbon en raison de la hausse très rapide de leurs besoins en électricité, l'écobilan de leur production électrique est moins bon.



s499_014

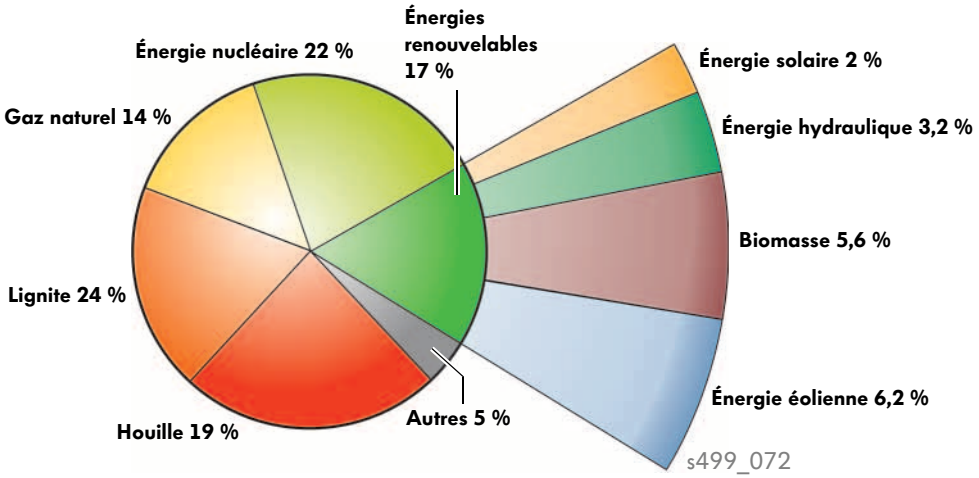
Gazole, 111 g/km
Essence, 132 g
Production d'hydrogène, 210 g/km
Énergie éolienne, 1 g/km
Énergie nucléaire, 6 g/km
Gaz naturel, 98 g/km
Fioul, 145 g/km
Houille, 171 g/km
Lignite, 188 g
Mix électrique – Allemagne 2010, 115 g
Mix électrique – Chine 2010, 179 g

Toutes les valeurs indiquées correspondent à des grammes de CO_2 par kilomètre parcouru (pour l'année 2011)

Le saviez-vous ?
Comme l'hydrogène pur dont a besoin une pile à combustible n'existe pas à l'état naturel, il faut le produire en ayant recours à un procédé coûteux. Ce procédé mobilise une quantité très importante d'énergie électrique.

Énergies renouvelables

Par énergies renouvelables, on désigne des sources d'énergie qui, à court terme et à l'échelle humaine, sont inépuisables. Parmi ces énergies renouvelables, on compte l'énergie éolienne, solaire, géothermique, hydraulique et la biomasse.
Dans le domaine de l'électromobilité, les émissions de CO_2 pourront être réduites davantage lorsque la part des énergies renouvelables dans le mix électrique sera accrue. Cette part de la production électrique européenne doit passer de 17 % en 2010 à 48 % d'ici 2030.



Mix électrique – Allemagne 2010

Potentiel de l'énergie solaire

L'énergie solaire reçue par la Terre représente environ 10 000 fois les besoins énergétiques actuels de la Terre entière. L'énergie solaire disponible est donc supérieure à la quantité d'énergie dont nous aurons besoin dans le futur.
Cependant, les coûts et les rendements des cellules photovoltaïques font obstacle à l'exploitation de ce potentiel. Si le rendement des modules photovoltaïques se situait à environ 8 % au début des années 80, les modules moyens présents sur le marché atteignent actuellement 17 %, et les produits de pointe, presque 20 %. Pour que l'énergie solaire puisse concurrencer les autres sources d'énergie, il faut toutefois poursuivre le développement de la technologie : les installations solaires doivent gagner en efficacité.

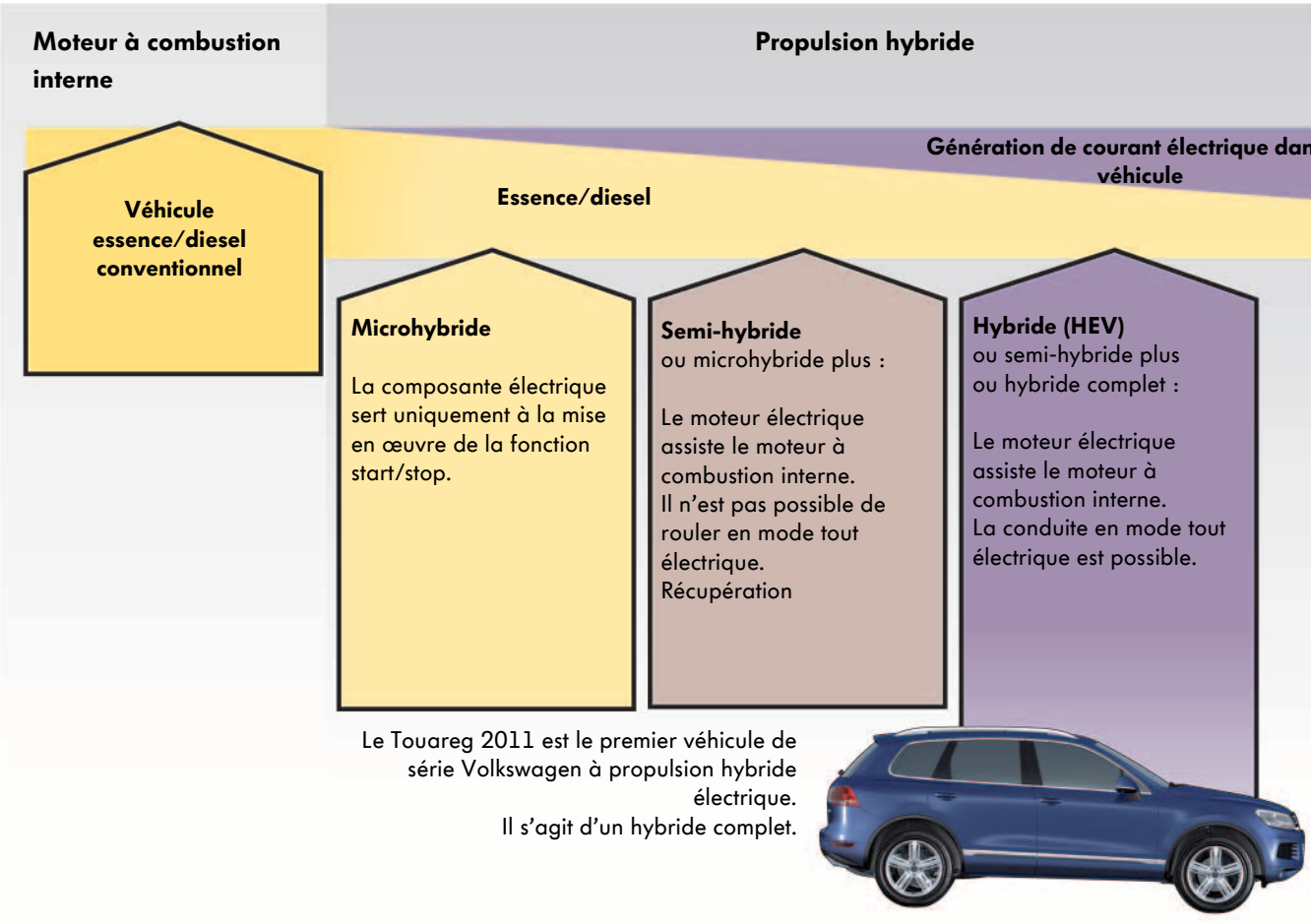
Le saviez-vous ?
En 24 heures, la planète Terre reçoit suffisamment d'énergie sous forme de rayonnement solaire pour fournir de l'énergie électrique à la population mondiale pendant une année.
En 2011, la part d'énergie géothermique (utilisation de la chaleur présente dans le manteau terrestre) dans la production d'électricité reste inférieure à 1 % en Allemagne.

Connaissances de base en électromobilité

Le concept d'« électromobilité » renvoie à tous les véhicules dont la propulsion est assurée par l'énergie électrique. Parmi ces derniers, on compte les véhicules propulsés par une batterie électrique, les véhicules hybrides (hybrides complets) ou encore les véhicules à pile à combustible.

Typologie des véhicules électriques

La désignation et la classification des véhicules électriques se fondent en premier lieu sur la façon dont l'énergie électrique est mise à la disposition du système de propulsion électrique :



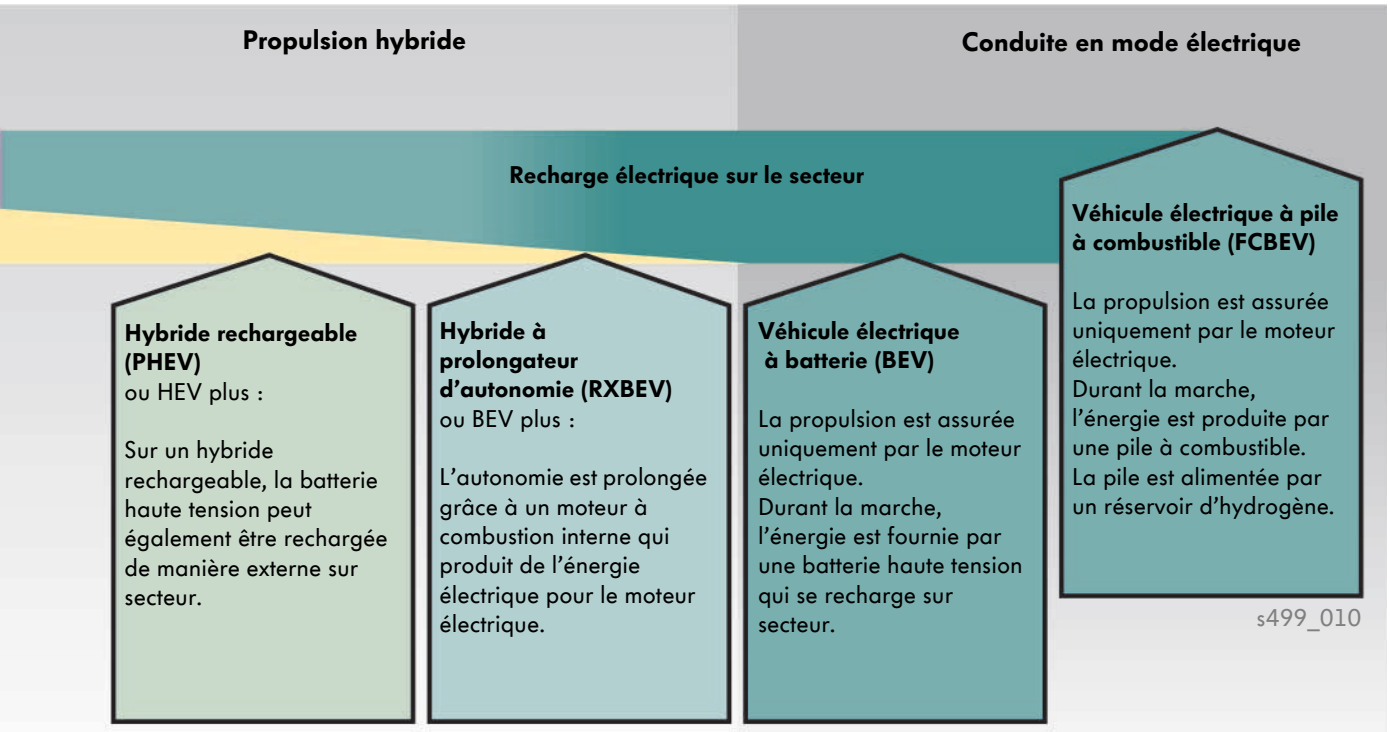
Le Touareg 2011 est le premier véhicule de série Volkswagen à propulsion hybride électrique.
Il s'agit d'un hybride complet.

Concepts techniques

Les véhicules à faible émission, qui ne rejettent pas de gaz d'échappement dans l'environnement durant la marche, sont également appelés « véhicules à émission zéro » (VEZ) ; (Zero Emission Vehicle – ZEV).

Les véhicules électriques à batterie, qui sont propulsés exclusivement par un moteur électrique, sont également appelés « Battery Electric Vehicle » (BEV). Durant la marche, l'énergie est fournie par une batterie haute tension qui se recharge sur le secteur.

L'« Electric Vehicle Index » (EVI) (index des véhicules électriques) permet de mesurer le développement de l'électromobilité. Sur la base de neuf critères différents, il évalue tant le marché que la production de véhicules électriques dans les différents pays industrialisés. L'ordre des pays étudiés est actuellement le suivant : États-Unis, France, Allemagne, Italie, Japon, Chine, Corée, Espagne, Grande-Bretagne, Danemark, Portugal et Irlande.



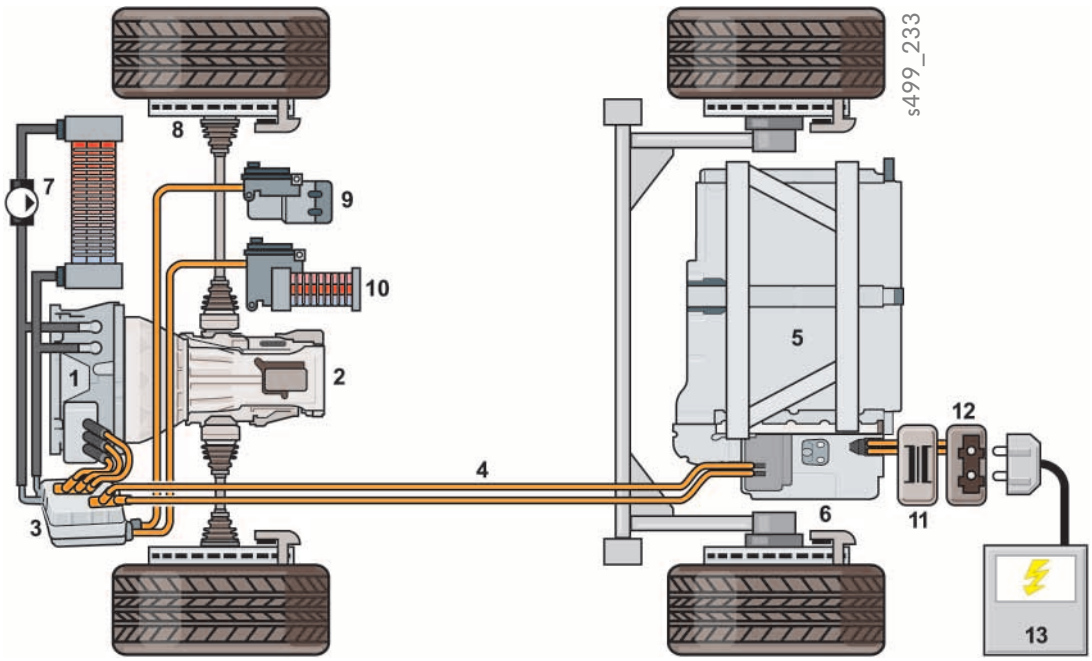
Explication des sigles utilisés :

BEV – Battery Electric Vehicle (véhicule électrique à batterie) ; désigne un véhicule purement électrique
HEV – Hybrid Electric Vehicle (hybride) ; désigne un véhicule hybride ou hybride complet
FCBEV – Fuel Cell Battery Electric Vehicle (véhicule électrique à pile à combustible) ; désigne un véhicule électrique doté d'une pile à combustible ou véhicule à hydrogène
PHEV – Plugin Hybrid Electric Vehicle (hybride rechargeable) ; désigne un véhicule hybride ou hybride complet avec possibilité de recharge externe
RXBEV - Range Extender Battery Electric Vehicle (hybride à prolongateur d'autonomie) ; désigne un véhicule à batterie électrique équipé en plus d'un moteur qui entraîne un générateur permettant de prolonger l'autonomie

Les principaux composants d'un véhicule électrique

L'ensemble du système de propulsion des véhicules électriques comprend :

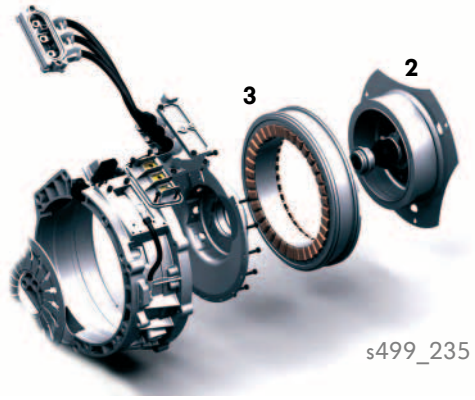
- La batterie haute tension avec le calculateur de régulation de la batterie et un chargeur
- Le motogénérateur électrique avec son système de pilotage (électronique de puissance) et son système de refroidissement
- Boîte de vitesses, y compris différentiel
- Système de freinage
- Climatisation haute tension de l'habitacle



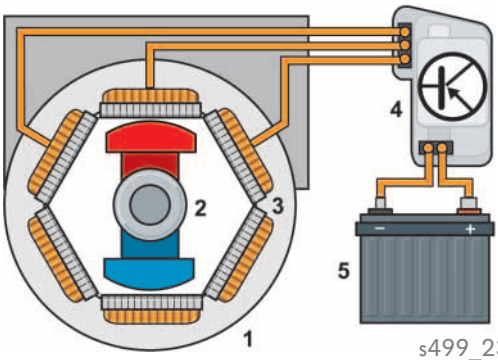
1 Motogénérateur électrique
2 Boîte de vitesses avec différentiel
3 Électronique de puissance
4 Câbles haute tension
5 Batterie haute tension
6 Boîtier électronique avec calculateur de régulation de la batterie
7 Système de refroidissement
8 Système de freinage
9 Compresseur de climatiseur haute tension
10 Chauffage haute tension
11 Chargeur
12 Prise de recharge extérieure
13 Source de recharge externe

Le motogénérateur électrique

La notion de motogénérateur électrique est utilisée à la place des concepts d'alternateur, de moteur électrique et de démarreur. Fondamentalement, tout moteur électrique peut également être utilisé comme générateur. Lorsque le motogénérateur électrique est entraîné mécaniquement, il fonctionne comme un générateur et fournit de l'énergie électrique. Si le motogénérateur électrique est alimenté en courant, il fonctionne comme un moteur. Les motogénérateurs électriques destinés aux véhicules sont refroidis par eau. Un refroidissement par air est toutefois envisageable.
Sur un hybride (HEV) ou un hybride complet, le motogénérateur électrique tient également lieu de démarreur pour le moteur à combustion interne.



s499_235



s499_234

Motogénérateur électrique (1), rotor (2), stator (3), électronique de puissance (4), batterie haute tension (5)

Les motogénérateurs électriques sont souvent des moteurs triphasés. Un moteur triphasé fonctionne avec du courant alternatif triphasé. Son principe de fonctionnement repose sur trois bobines qui sont disposées en cercle autour du rotor pour former un stator, et qui sont raccordées chacune à l'une des trois phases du courant. Sur le rotor de cette machine synchrone se trouvent plusieurs paires d'aimants permanents. Les trois bobines étant successivement alimentées en courant de manière cyclique, elles produisent conjointement un champ électrique tournant qui provoque le mouvement de rotation du rotor lorsque le motogénérateur électrique fonctionne en tant que moteur.

Lorsque le motogénérateur électrique est utilisé en tant que générateur, le mouvement du rotor induit dans les bobines une tension alternative triphasée qui, dans l'électronique de puissance, est convertie en tension continue destinée à la batterie haute tension. Dans un véhicule, on utilise en général des moteurs synchrones, encore appelés « machines synchrones ». Le terme « synchrone » signifie dans ce contexte « qui fonctionne de la même manière » et décrit le rapport entre la vitesse de rotation du champ généré dans les bobines du stator et celle du rotor avec ses aimants permanents.
L'avantage des moteurs synchrones par rapport aux moteurs asynchrones réside dans la possibilité de régler plus précisément le moteur en vue d'une utilisation dans le domaine automobile.

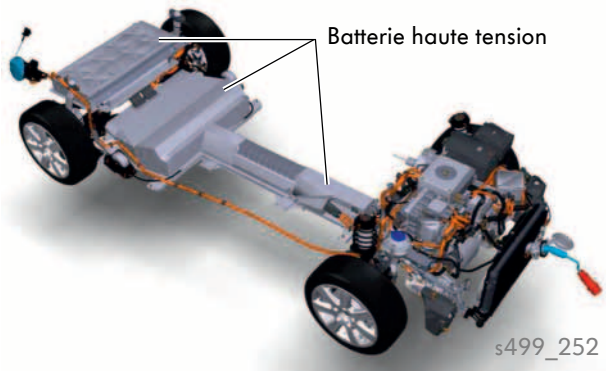
Avantages du motogénérateur électrique

Dans la mesure où il n'émet ni bruit, ni polluants, le motogénérateur électrique est très écologique. Le motogénérateur électrique présente un temps de réponse court, de bonnes valeurs d'accélération et un rendement élevé. Contrairement aux moteurs à combustion interne, les moteurs électriques développent leur puissance nominale en continu sur une large plage de régime. Le couple maximal est déjà disponible à bas régime (au démarrage), et il ne décroît que lorsque le régime atteint des niveaux très élevés. Par conséquent, le système n'a besoin ni de boîte mécanique, ni de boîte automatique, ni d'embrayage.
Sur un motogénérateur électrique, on peut choisir librement le sens de rotation. Le moteur peut donc tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, pour déplacer le véhicule vers l'avant, et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour la marche arrière.

Les moteurs électriques démarrent sans aide extérieure. Il n'est pas nécessaire de monter un moteur de démarrage séparé. Les moteurs électriques sont de conception plus simple et possèdent sensiblement moins de pièces mobiles que les moteurs à combustion interne. Seul le rotor et ses aimants permanents tournent à l'intérieur du motogénérateur électrique. Il n'y a pas de masses oscillantes, comme il en existe dans les moteurs à combustion interne. Il n'est pas nécessaire d'effectuer de vidange, car le système n'a pas besoin d'huile lubrifiante. Le bloc-moteur des véhicules à propulsion électrique demande donc en général peu d'entretien.

La batterie haute tension

La batterie constitue le cœur du véhicule électrique. La batterie haute tension peut par ex. être rechargée de l'extérieur par l'intermédiaire d'une prise de courant. Elle transmet sa tension continue à l'électronique de puissance.
L'électronique de puissance convertit la tension continue en tension alternative et alimente le motogénérateur électrique avec trois phases électriques à l'aide des trois câbles (U, V et W).
Le véhicule électrique se met alors en mouvement.

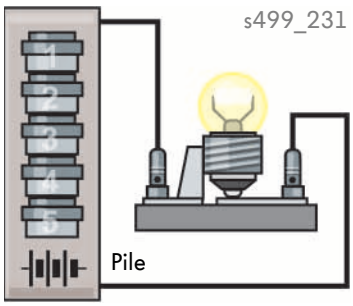


Batterie haute tension à l'arrière d'un véhicule haute tension

Explication des concepts

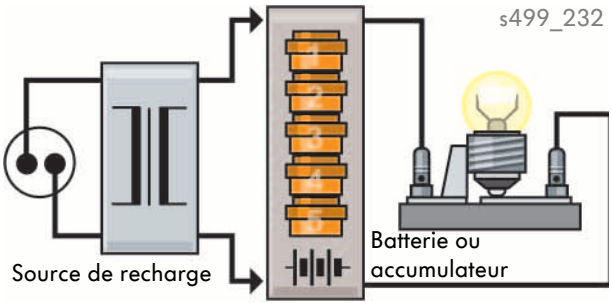
Outre le concept de batterie, on utilise également ceux de pile, d'accumulateur ou accu. À l'origine, la pile et la batterie ou accumulateur désignent deux types d'éléments de stockage d'électricité qui diffèrent fondamentalement. L'usage actuel ne fait pas une distinction aussi stricte, et ces termes sont parfois utilisés comme synonymes.

Pile



Dans son acception originelle, la pile désigne un objet permettant de stocker de l'énergie électrique, et qui ne peut pas être rechargé. La pile est composée d'éléments dits primaires.
La tension globale est fonction du nombre et de la tension des différents éléments.
Un élément primaire libère l'énergie chimique qu'il contient sous forme d'énergie électrique grâce à une réaction chimique.
Il n'est pas possible de rétablir l'état de charge d'origine en effectuant une recharge électrique.

Batterie ou accumulateur



Une batterie ou accumulateur est rechargeable et se compose d'éléments secondaires. La batterie la plus connue est la batterie au plomb, qui est largement utilisée comme batterie de réseau de bord.
Un élément secondaire sert lui aussi à stocker de l'énergie électrique. Comme dans le cas de la pile, la quantité d'énergie qui peut être fournie est déterminée par le nombre d'éléments secondaires reliés entre eux. Toutefois, contrairement à ce qui se passe dans l'élément primaire, la réaction chimique qui a lieu ici peut facilement être inversée. Cela signifie que l'on peut continuer à utiliser un accumulateur déchargé à condition de le recharger en énergie à l'aide d'un chargeur.

Le saviez-vous ?
la résistance aux cycles alternés des batteries d'ordinateur portable ou de téléphone mobile est d'environ 500 cycles. Cela signifie que ces batteries sont conçues pour passer jusqu'à 500 fois de l'état vide à l'état plein. Ensuite, elles ne possèdent plus qu'environ 50 % de leur capacité d'origine. L'indice décrivant la capacité de la batterie est appelé « State of Capacitiy » (SOC) ; (état de capacité). L'indication de l'« état de santé » de la batterie est donnée quant à elle par le SOH (State of Health) ; (état de santé).

Connaissances de base en électromobilité

Dans les pages suivantes, le terme de batterie haute tension (batterie HT) est utilisé pour désigner un accumulateur servant à alimenter un motogénérateur en électricité.
Les caractéristiques électriques permettant de décrire une batterie haute tension, comme la tension nominale, le rendement et la densité énergétique, dépendent du type des substances chimiques utilisées pour la structure interne de l'accumulateur d'énergie.

Densité énergétique

Cette grandeur définit le niveau de performance d'une batterie par rapport à son poids. Plus la densité énergétique est élevée, plus la quantité d'énergie pouvant être stockée et restituée pour fournir un travail est importante. L'unité de mesure de la densité énergétique est le wattheure par kilogramme [Wh/kg], combinaison du travail électrique [Wh] et du poids [kg] de la batterie. À partir de la densité énergétique, on peut déduire l'autonomie d'un véhicule électrique.

Exemple d'une batterie haute tension d'un poids de 85 kg, d'une tension de 288 volts et d'un courant de 6,5 ampères :
la puissance électrique (P) est égale à la tension électrique (U) multipliée par le courant électrique (I) ; P = U x I.
U = 288 volts et I = 6,5 ampères
P = 288 V x 6,5 A = 1 872 VA; 1 VA correspond à env. 1 W (watt)
P = 1 872 W ou 1,872 kW (kilowatt)
Le travail électrique est égal à la puissance électrique multipliée par le temps.
En une heure (1 h), cette batterie haute tension peut donc fournir un travail de 1 872 Wh (wattheures).
Calcul de la densité énergétique : 1 872 W x 1 h : 85 kg = 22,02 Wh/kg

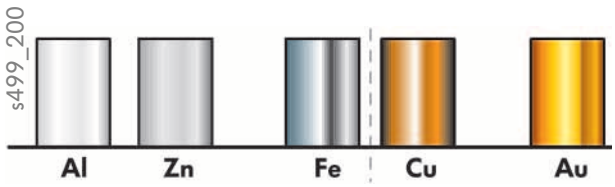
Durée de vie

La durée de vie d'une batterie est décrite en termes de résistance aux cycles alternés. La résistance aux cycles alternés d'une batterie haute tension est fixée à un total de 3 000 cycles sur une période de 10 ans, donc à 300 cycles par an. Au vu de cette caractéristique, les batteries automobiles (dites « Automotive Batteries »), utilisées dans un véhicule électrique, ne peuvent pas être comparées aux « Consumer Batteries » (batteries à usage courant), destinées à un usage dans les ordinateurs portables ou les téléphones mobiles.

Rendement

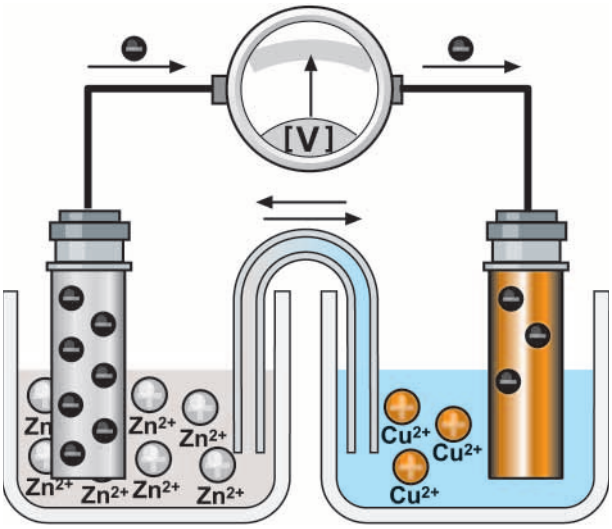
Le rendement d'une batterie rechargeable est indiqué en pour cent. De manière simplifiée, le rendement indique quelle proportion de l'énergie investie dans la charge sera utilisable lors de la décharge de la batterie. Une petite partie de l'énergie de la recharge étant dissipée sous forme de chaleur (perte de charge), le rendement d'une batterie ne peut jamais être égal à 100 %.

Principe de fonctionnement



Extrait de la série électrochimique des métaux :
Al – Aluminium
Zn – Zinc
Fe – Fer
Cu – Cuivre
Au – Or

Le principe de fonctionnement d'une batterie repose sur le fait que les métaux sont plus ou moins « précieux ». Dans ce contexte, le mot « précieux » signifie que deux métaux comme le zinc et le cuivre n'ont pas la même propension à perdre des électrons. Ce comportement chimique permet de classer les éléments dans ce que l'on appelle la série électrochimique. Le zinc perd facilement des électrons. Cela signifie qu'il s'oxyde facilement. Le cuivre, lui, ne cède pas aussi facilement des électrons pour une réaction chimique. Cela signifie qu'il s'oxyde plus difficilement.



Structure schématique d'une batterie s499_230

Si l'on plonge une tige de zinc et une tige de cuivre dans des bacs distincts contenant un électrolyte adéquat, les deux métaux rejettent des quantités différentes d'ions dans l'électrolyte et se chargent en retour d'électrons. Dans un bac, la solution contient beaucoup d'ions positifs de zinc et la tige de zinc est chargée de beaucoup d'électrons. Dans l'autre bac, la solution contient peu d'ions positifs de cuivre et la tige de cuivre est peu chargée d'électrons. Si l'on relie maintenant les deux bacs par un pont ionique, la différence de concentration ionique provoque un transfert de charge. La tige de zinc, présentant un fort excédent d'électrons, tient lieu d'anode, alors que la tige de cuivre constitue la cathode. Il est possible de mesurer une tension entre les deux tiges en raison des densités électroniques différentes de ces dernières. Si l'on relie les deux électrodes par un conducteur, les électrons se déplacent de l'anode vers la cathode. Ce montage est appelé pile galvanique et représente la forme de batterie la plus simple. Lorsque la batterie fournit de l'énergie, c'est la borne négative qui constitue l'anode. Sur les batteries rechargeables, la même électrode peut fonctionner alternativement comme anode ou comme cathode, selon que la batterie subit une recharge ou une décharge.

Typologie des batteries rechargeables

Les différents types de batteries rechargeables se distinguent d'après les matériaux utilisés pour les électrodes et l'électrolyte. Les accumulateurs les plus courants sont les batteries au plomb, au nickel-cadmium, au nickel-métal-hydrure et au lithium-ion. Les paragraphes suivants proposent une brève description de ces batteries ainsi qu'une présentation de leurs principales particularités.

La batterie au plomb

La solution classique pour les batteries de réseau de bord 12 V dans l'automobile. Les électrodes sont constituées de plaques de plomb ou de plomb et d'oxyde de plomb, l'électrolyte d'acide sulfurique.
Les accumulateurs au plomb ont besoin d'être entretenus. Cela signifie qu'il faut faire l'appoint d'eau distillée afin de garantir un niveau d'électrolyte suffisant. Les batteries au plomb-acide ne conviennent pas très bien à l'alimentation des véhicules à propulsion purement électrique, car elles sont très lourdes par rapport à leur volume et mobilisent une grande partie du volume du véhicule. Un tel véhicule verrait alors sa charge utile réduite.
Un accumulateur au plomb peut avoir perdu une grande partie de sa capacité au bout de six ans seulement.
S'il est endommagé, il peut présenter des fuites d'électrolyte (acide).

La batterie au nickel-cadmium

Ces batteries utilisent des électrodes en cadmium (Cd) et en composé de nickel. L'électrolyte est quant à lui composé d'hydroxyde de potassium. C'est pourquoi les batteries de ce type sont également appelées batteries alcalines. Elles possèdent une densité énergétique supérieure à celle des batteries au plomb et sont plus résistantes aux dégâts et aux fuites d'électrolyte. Les batteries au nickel-cadmium présentent un effet de mémoire. Ce type de batterie ne résiste que dans une certaine mesure aux décharges profondes et aux surcharges.
Son rendement s'en trouve donc réduit. Le cadmium et ses composés sont toxiques.

La batterie au nickel-métal-hydrure

Les électrodes de ces batteries sont constituées d'un composé de nickel et d'un composé d'un autre métal.
L'électrolyte est là encore composé d'hydroxyde de potassium. Ces batteries possèdent une densité énergétique encore supérieure à celle des batteries au nickel-cadmium (Ni-Cd) et sont relativement résistantes aux dégâts.

Même si ces batteries ne présentent pas d'effet de mémoire comparable à celui des batteries au nickel-cadmium (Ni-Cd), elles perdent elles aussi en rendement au fil de leur durée de vie. Cette perte de rendement est réversible dans une certaine mesure. Autre avantage des batteries au nickel-métal-hydrure : elles ne contiennent pas de métaux lourds comme le plomb ou le cadmium. L'électrolyte est stocké dans la batterie sous forme solide. Même en cas de rupture du boîtier, seuls quelques éclats peuvent s'en échapper.

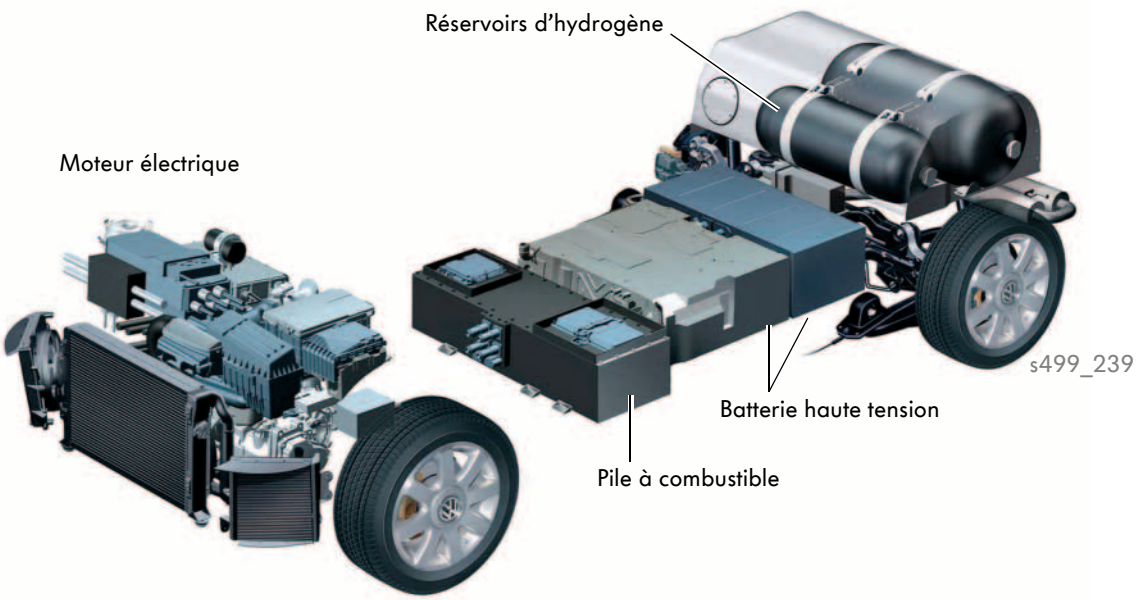
La batterie au lithium-ion

Elle représente l'une des générations de batteries les plus récentes et utilise des composés de lithium pour sa structure interne. Les électrodes sont constituées de différents oxydes métalliques lithiés et de graphite, l'électrolyte de différents solvants pour sels de lithium. Les batteries au lithium-ion ne contiennent que très peu d'eau et ne présentent pas d'effet de mémoire. Elles possèdent une densité énergétique plus de deux fois supérieure à celle des batteries au nickel-cadmium. Cela signifie que ce type de batterie occupe moins de place dans un véhicule électrique pour une puissance donnée, et qu'il reste donc plus de place pour les occupants et le coffre à bagages. Le lithium (Li) est un éléments chimique. Le mot lithium vient du grec „lithos" qui signifie pierre, car cette matière a été découverte en 1817 dans de la pierre. De par son comportement chimique, le lithium est classé comme le sodium parmi les métaux alcalins ; il est considéré comme un métal léger en raison de sa faible densité. Il s'agit du troisième élément chimique le plus léger après l'hydrogène et l'hélium.

Densité	0,534 g/cm^3 (pour comparaison : H_2O = 1 g/cm^3)
Utilisation dans les batteries	Sous forme de carbonate de lithium (Li_2CO_3) ; il faut env. 3 kg de lithium pur pour fabriquer une batterie de 20 kWh.
Avantages	Possibilité de recharge rapide grâce à un rayon ionique réduit. Pas d'effet de mémoire

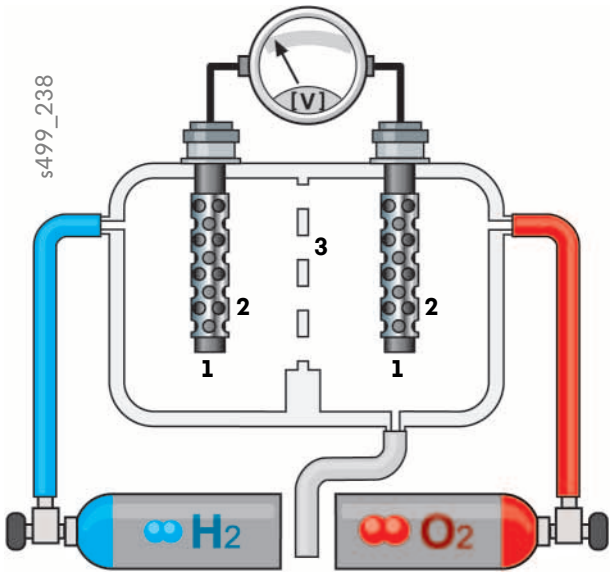
L'exposition d'une batterie au lithium-ion à de fortes chaleurs peut déclencher des processus de décomposition à l'intérieur. Ces processus risquent de provoquer des brûlures et un dégagement de gaz toxiques. Il faut donc impérativement tenir compte des avertissements du constructeur en manipulant ces batteries.

Pile à combustible



Parmi les systèmes de propulsion alternatifs, on compte la pile à combustible. Selon le principe de la conversion d'énergie, il se produit dans la pile à combustible un processus permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir d'énergie chimique, comme dans le moteur à combustion interne. La conversion de l'énergie du « carburant » en puissance est bien plus directe dans la pile à combustible. C'est pourquoi le rendement d'une pile à combustible est plus élevé que celui d'un moteur à combustion interne. On pourrait donc considérer une pile à combustible comme un moteur.

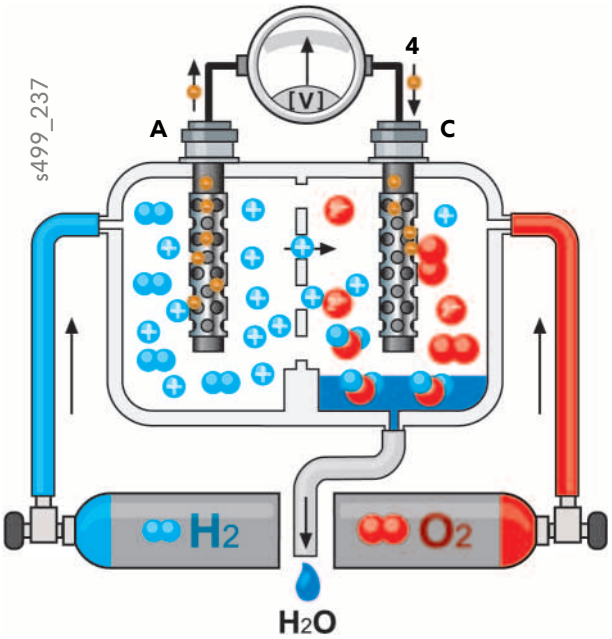
Dans un moteur à combustion interne, l'énergie chimique contenue dans les molécules de carburant est transformée en énergie cinétique par combustion. Cette énergie peut ensuite être utilisée pour entraîner une boîte de vitesses ou pour alimenter un générateur. Dans un moteur à combustion interne, une grande quantité d'énergie est transformée en chaleur par frottement. Dans la pile à combustible, l'énergie chimique est convertie en énergie électrique. À la différence du moteur à combustion interne, il n'est pas nécessaire de monter un alternateur en plus pour produire de l'énergie électrique. Le carburant de la pile est de l'hydrogène de fabrication industrielle, qui se combine avec l'oxygène de l'air dans la pile à combustible pour former de l'eau. L'hydrogène possède certes une quantité d'énergie inférieure à celle des hydrocarbures contenus dans le carburant, mais il brûle plus facilement et le processus de transformation de l'énergie s'effectue presque sans pertes. De plus, la combustion ne génère pas de résidus ni de gaz d'échappement toxiques.



Structure schématique d'une pile à combustible

Structure d'une pile à combustible

Une pile à combustible hydrogène-oxygène est une forme particulière de pile galvanique. Les composants principaux sont deux électrodes (1), par ex. des nanotubes de carbone, avec un revêtement de platine qui tient lieu de catalyseur (2), et une membrane spéciale (3). Différents composés peuvent servir d'électrolyte. La membrane spéciale est étanche aux gaz, non conductrice d'électrons et perméable aux protons (noyaux d'hydrogène sans électron). L'oxygène (O_2) n'est pas stocké dans un réservoir, mais prélevé directement dans l'air ambiant.



La combustion de l'hydrogène permet de générer du courant.

Fonctionnement

L'hydrogène (H_2) et l'oxygène (O_2) sont acheminés séparément jusqu'aux deux électrodes : l'hydrogène vers l'anode (A) et l'oxygène vers la cathode (C). L'hydrogène cède deux électrons grâce au catalyseur et se divise en deux noyaux d'hydrogène chargés positivement (protons). Ces derniers peuvent traverser la membrane car il y a moins de protons dans l'électrolyte de l'autre côté de la membrane (côté cathode) qu'il n'y en a côté anode (diffusion). L'oxygène se charge d'électrons par catalyse sur son électrode, puis réagit immédiatement avec les protons d'hydrogène pour former de l'eau (H_2O).

Si l'on relie électriquement l'anode à la cathode, il circule un courant généré par cette réaction (4).
La transformation de l'hydrogène en eau permet donc d'obtenir directement de l'énergie électrique dans la pile à combustible.

Autres composants haute tension

Inverseur

L'inverseur est également appelé convertisseur ou onduleur. Il a pour tâche de transformer la tension alternative triphasée du générateur en tension continue destinée à recharger la batterie. Les trois phases de la tension alternative sont d'abord redressées, puis lissées, afin d'obtenir une tension continue d'un niveau à peu près constant. Inversement, lorsque le motogénérateur électrique est en mode propulsion, la tension continue de la batterie est transformée en tension alternative triphasée.

Convertisseur CC/CC

Un convertisseur CC/CC est au fond un transformateur. Il permet de transformer la haute tension continue de la batterie haute tension en une tension suffisamment basse pour permettre la recharge de la batterie du réseau de bord 12 V. L'onduleur et le convertisseur CC/CC sont souvent combinés avec d'autres composants électroniques du système haute tension pour former une électronique de puissance.

Source de recharge / prise de recharge

Un chargeur intégré au système haute tension du véhicule est également appelé convertisseur CA/CC. Il transforme via la prise de recharge le courant alternatif du secteur en courant continu, car seul le courant continu peut être stocké dans les batteries.
La recharge peut également être effectuée avec du courant continu. La mise à disposition de courant continu via un réseau électrique public est toutefois coûteuse.

Réseau haute tension

Le réseau haute tension est séparé du réseau de bord 12 V à une exception près. Le convertisseur CC/CC est le seul composant relié aux deux réseaux. Tous les câbles haute tension sont de couleur orange et très résistants aux dégâts. Ils sont encore renforcés par une gaine textile supplémentaire, également de couleur orange. Les connecteurs électriques du réseau haute tension sont conçus de manière à rendre toute inversion de polarité impossible et sont repérés par une couleur. Les consommateurs électriques qui ne sont pas inclus dans le réseau haute tension (par ex. installations d'éclairage, direction, pompe à dépression de servofrein, allume-cigare) sont alimentés par le réseau de bord 12 V classique.

Autres organes haute tension

Outre les composants spécifiques à la propulsion, d'autres organes et composants des véhicules haute tension peuvent être alimentés en haute tension. Il s'agit par ex. des climatiseurs et/ou du chauffage.
Sur les véhicules haute tension qui fonctionnent sans moteur à combustion interne, il est nécessaire de faire fonctionner à l'électricité tous les organes qui, dans un véhicule conventionnel, sont entraînés par le moteur à combustion interne, par ex. via une courroie. Toutefois, ces composants ne doivent pas nécessairement être alimentés en haute tension, mais peuvent être conçus en version 12 V, et être alimentés par le réseau 12 V (par ex. pompe de direction assistée, servofrein, etc.). L'alimentation haute tension est réservée aux composants qui ont besoin d'une puissance importante, comme le compresseur de climatiseur. Tous les organes haute tension sont repérés par un autocollant d'avertissement.

Boîte de vitesses

Un véhicule purement électrique (BEV) n'a pas besoin d'une boîte de vitesses classique possédant plusieurs rapports. Pour la marche arrière, les pôles du moteur électrique sont simplement inversés. Cela signifie que le motogénérateur électrique change de sens de rotation. Cette commutation s'effectue à l'aide d'un levier qui permet de sélectionner les positions « Point mort », « Marche avant » et « Marche arrière ». Le conducteur règle la vitesse en continu en appuyant sur l'accélérateur. Les véhicules hybrides complets (HEV) et les véhicules hybrides rechargeables (PHEV) sont encore dotés d'une boîte de vitesses classique. Il ne s'agit en général pas d'une boîte mécanique, mais d'une boîte automatique ou d'une boîte DSG à double embrayage.

Système de freinage

Pour simplifier, un véhicule électrique possède deux systèmes de freinage indépendants. L'un d'eux est le système de freinage hydromécanique classique. Le deuxième est formé par le « frein moteur » du motogénérateur électrique. Par rapport à celui du moteur à combustion interne, ce « frein moteur » présente cependant l'avantage que l'énergie dégagée par le freinage en phase de décélération peut être récupérée grâce au motogénérateur électrique et stockée dans la batterie haute tension. Ce phénomène, appelé récupération, contribue à la grande efficacité des véhicules électriques, notamment en circulation urbaine. La récupération permet en outre de réduire l'usure des freins du véhicule.

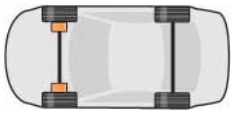
Configurations de la chaîne cinématique

Un véhicule électrique est propulsé au minimum par un motogénérateur électrique. Il peut être doté d'une transmission intégrale ou comporter un seul essieu moteur. D'autres variantes de véhicule hybride sont également possibles. Elles sont décrites dans le SSP 450 « Le Touareg Hybrid ».

Les pages suivantes présentent les deux concepts principaux :
- La propulsion à l'aide de moteurs-roues
- La propulsion uniquement à l'aide d'un motogénérateur électrique dans la chaîne cinématique centrale

Propulsion à l'aide de moteurs-roues

Le tableau suivant présente un aperçu des différentes configurations de propulsion à l'aide de moteurs-roues.

Traction	Propulsion	Transmission intégrale
		
2 moteurs-roues	2 moteurs-roues	4 moteurs-roues

Conception
Les roues sont reliées directement aux moteurs-roues. Ce concept est aujourd'hui utilisé sur les scooters électriques, les vélos à propulsion ou à assistance électrique et les fauteuils roulants à propulsion électrique.

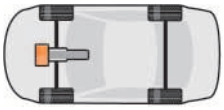
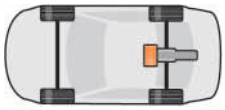
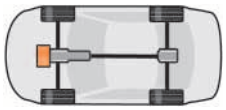
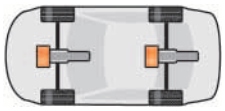
Avantages
- Transmission intégrale techniquement possible
- Les arbres de sortie des moteurs-roues se situent directement sur la roue.
- Rendement élevé de la transmission, car les pertes mécaniques sont presque nulles
- Récupération possible

Caractéristiques
- Arbres de transmission non nécessaires
- Différentiel non nécessaire

Inconvénients
- Les masses non amorties dans la roue sont plus importantes que sur un véhicule classique.
- Masse importante des composants entraînés (répercussion sur l'inertie et le couple de l'ensemble du véhicule)
- Nécessité de produire un concept de véhicule ad hoc
- Le pilotage du système est exigeant. Les deux motogénérateurs électriques doivent fonctionner de façon synchrone.
- Actuellement, la combinaison avec un frein à friction hydraulique est toujours nécessaire.
- L'espace de montage dans la roue est limité.

Propulsion à l'aide d'un motogénérateur électrique dans la chaîne cinématique centrale

Le tableau suivant présente un aperçu des différentes configurations de propulsion des véhicules équipés d'un motogénérateur électrique central.

Traction	**Propulsion**	**Transmission intégrale**	**Transmission intégrale**
			
1 motogénérateur électrique central et deux arbres de transmission	1 motogénérateur électrique central et deux arbres de transmission	1 motogénérateur électrique central et cinq arbres de transmission plus boîte transfert	2 motogénérateurs électriques centraux et quatre arbres de transmission

Conception

Le motogénérateur électrique entraîne une boîte de vitesses, les arbres de transmission et donc les roues. Sur un véhicule à propulsion purement électrique, un réducteur est suffisant. Il est possible d'obtenir la transmission intégrale en montant un arbre de transmission à partir de l'essieu avant moteur. L'autre possibilité consiste à utiliser un deuxième motogénérateur électrique.

Caractéristiques

- Deux demi-arbres de roue par essieu moteur
- Un différentiel par essieu moteur
- Arbre de transmission nécessaire

Avantages

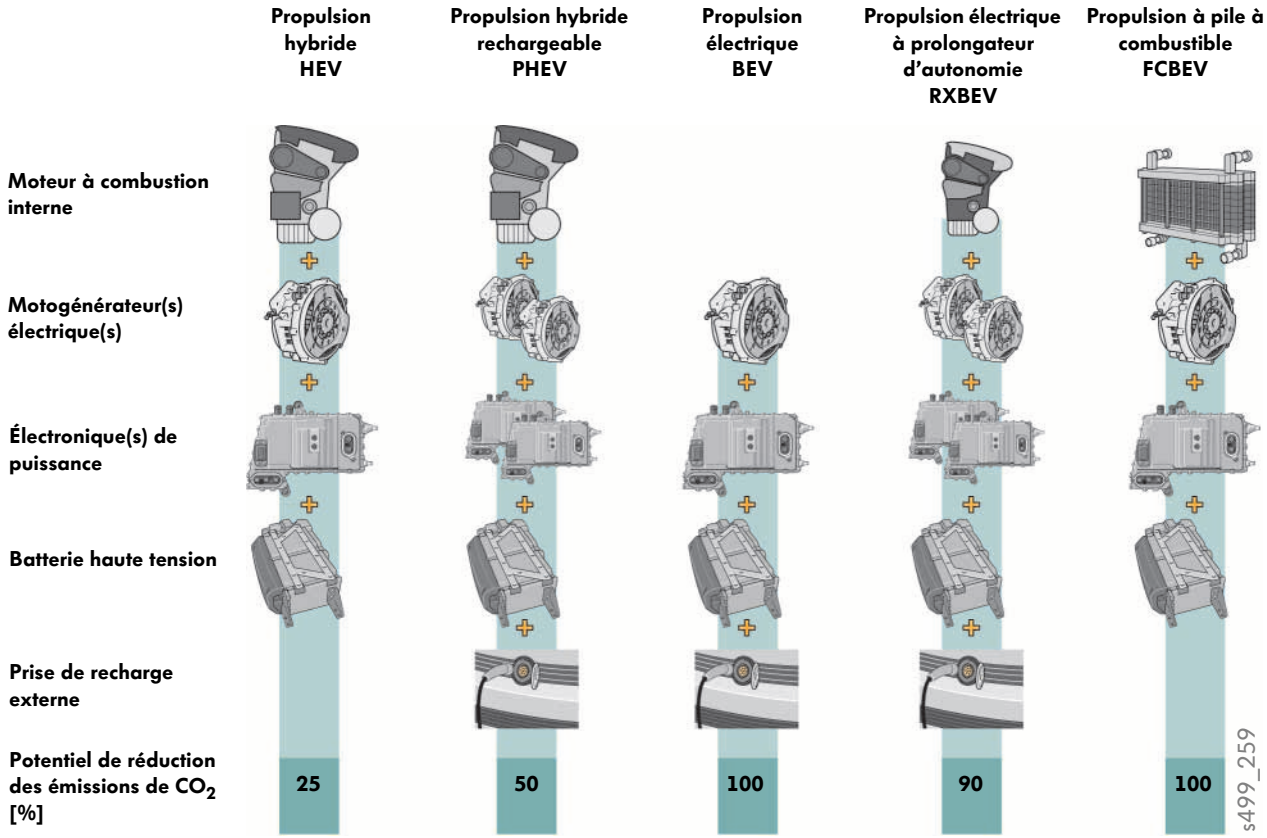
- Conception avec un seul essieu moteur facile à réaliser
- Transmission intégrale techniquement possible
- Combinaison sous forme de système hybride (HEV / PHEV / RXHEV) tout à fait possible
- Intégration possible dans un concept de véhicule existant

Inconvénients

- L'arbre de sortie du motogénérateur électrique ne se situe pas sur les arbres de transmission.
- Nécessité d'un différentiel
- Nécessité d'un réducteur

Actuellement, Volkswagen propose uniquement des systèmes de propulsion avec un motogénérateur électrique central comme seule transmission ou associé à des moteurs à combustion interne dans le cadre de systèmes de propulsion hybrides. Les moteurs-roues ne sont pas utilisés pour l'instant. Il est toutefois envisageable qu'ils soient mis en œuvre ultérieurement dans des véhicules.

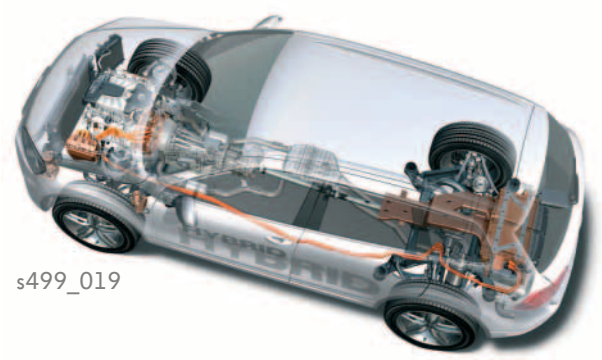
Aperçu des différentes combinaisons de modes de propulsion



Il existe plusieurs concepts fondamentaux de véhicules hybrides ou électriques. Certains sont actuellement sur le marché. D'autres n'existent pour l'instant qu'au stade de prototype.
Tous les concepts possèdent un certain nombre de composants haute tension en commun. Ces composants se retrouvent dans tous les véhicules haute tension sous une forme adaptée.

La liste ci-dessus ne mentionne pas les carburants. Le moteur à combustion interne doit être alimenté en essence ou en gazole.
La pile à combustible est quant à elle alimentée en hydrogène.

Le Touareg Hybrid (HEV)

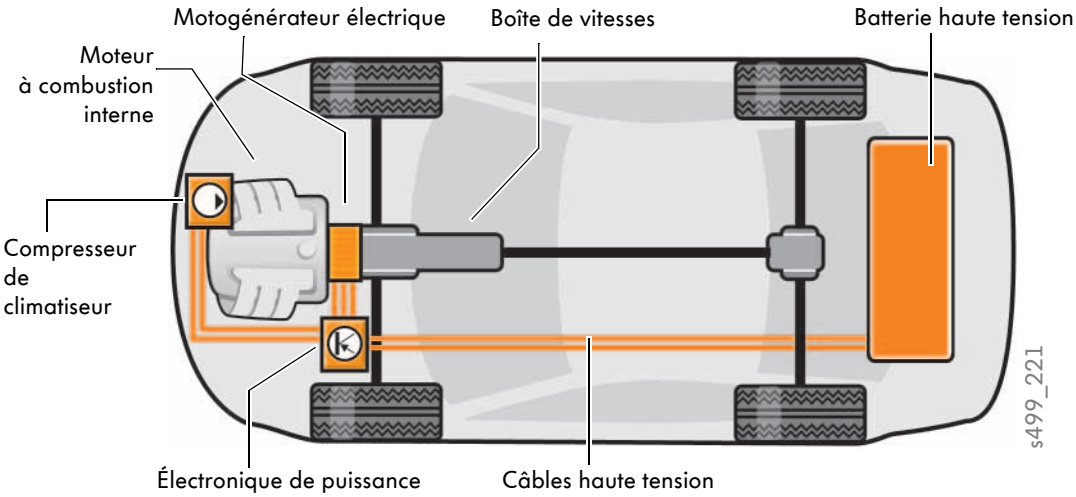


s499_019

Un hybride ou hybride complet (ici le Touareg Hybrid) possède un moteur à combustion interne conventionnel et un motogénérateur électrique qui est utilisé comme générateur, comme groupe moteur et comme démarreur. Les différents états de fonctionnement dépendent de facteurs tels que l'état de charge de la batterie haute tension et le dosage de l'accélérateur ou de la pédale de frein. Le moteur, tout comme le motogénérateur électrique, transmettent ensemble ou séparément leur force motrice aux essieux moteurs par l'intermédiaire d'un embrayage et d'une boîte de vitesses commune.
Outre le réseau haute tension, le véhicule possède un réseau de bord 12 V doté de sa propre batterie 12 V. Sur ce concept, le chauffage de l'habitacle est assuré par le liquide de refroidissement réchauffé par le moteur à combustion interne.

Conception

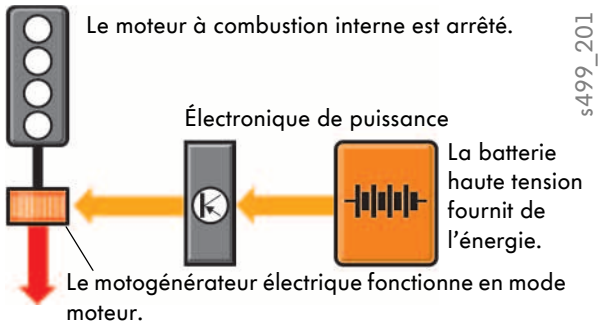
Organes propulseurs et composants haute tension



États de fonctionnement du HEV

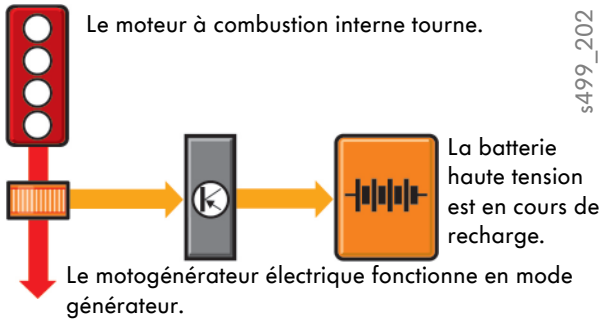
Conduite en mode électrique

Le moteur à combustion interne est désactivé. Le motogénérateur électrique propulse le véhicule. Toutes les fonctions habituellement assurées par le moteur à combustion interne lorsque celui-ci tourne, sont assurées sur un hybride par différents organes haute tension et 12 V.



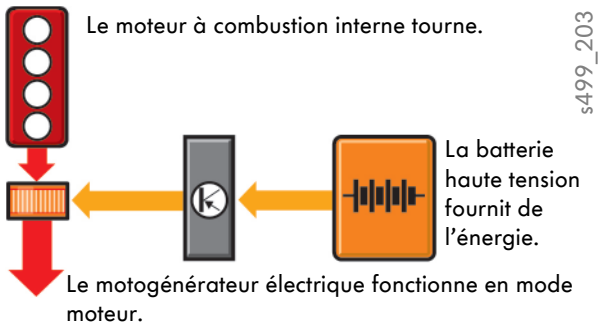
Fonctionnement en mode moteur à combustion interne

Le moteur à combustion interne propulse le véhicule. En fonction de son état de charge, la batterie haute tension est en cours de recharge. Le point de fonctionnement du moteur se déplace dans une plage permettant un meilleur rendement.



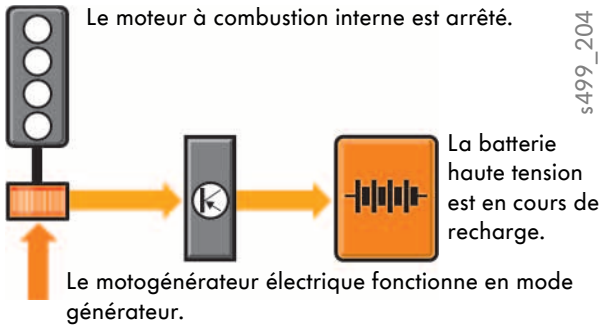
Surcouple électrique temporaire

Lorsque l'exigence de charge est très élevée, le motogénérateur électrique assiste le moteur à combustion interne.
Les puissances du moteur à combustion interne et du motogénérateur s'additionnent temporairement.



Récupération de l'énergie au freinage

Le moteur à combustion interne est en général désactivé. L'énergie de freinage est transformée en énergie électrique par le motogénérateur électrique (qui fonctionne en tant que générateur) et stockée dans la batterie haute tension.



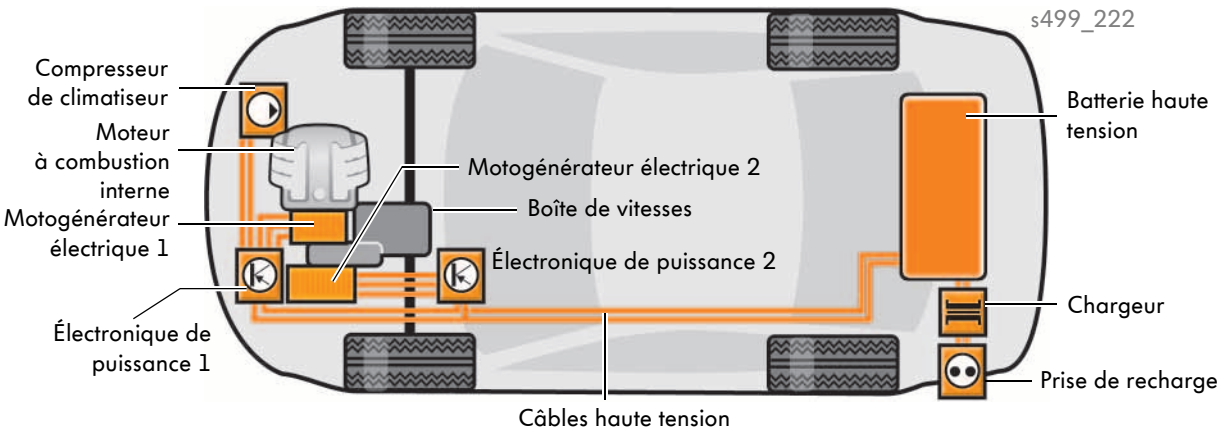
La Golf 6 TwinDrive (PHEV)

Contrairement à l'hybride ou hybride complet, le concept TwinDrive possède deux motogénérateurs électriques. L'un des deux motogénérateurs est utilisé exclusivement en tant que générateur ou démarreur, l'autre est utilisé en tant que moteur électrique et générateur. Les deux motogénérateurs électriques et le moteur à combustion interne sont chacun accouplés à un embrayage.
Là aussi, c'est l'état de fonctionnement qui décide des rôles respectifs des deux motogénérateurs électriques et du moteur à combustion interne à un instant donné.
La batterie haute tension de la TwinDrive peut également être rechargée par branchement à un réseau 230 V externe. Le véhicule peut même injecter du courant dans le réseau 230 V public par l'intermédiaire du câble de recharge à condition que l'installation 230 V domestique soit prévue à cet effet.

Outre le réseau haute tension, le véhicule possède un réseau de bord 12 V doté de sa propre batterie 12 V. Toutes les fonctions qui bénéficieraient de l'entraînement du moteur à combustion interne (par ex. compresseur de climatiseur), sont réalisées sur un hybride à l'aide de différents organes haute tension et 12 V.

Conception

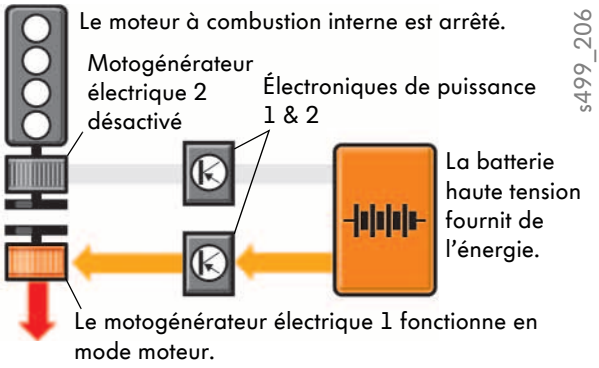
Organes propulseurs et composants haute tension



États de fonctionnement du PHEV

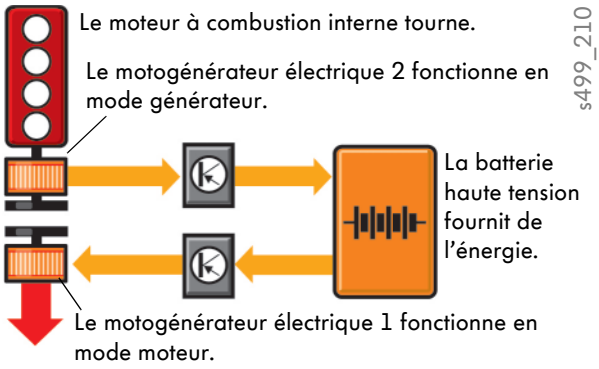
Conduite en mode électrique

Le moteur à combustion interne est désactivé. La propulsion est assurée par le motogénérateur électrique 1. La batterie haute tension fournit l'énergie par l'intermédiaire de l'électronique de puissance 1.



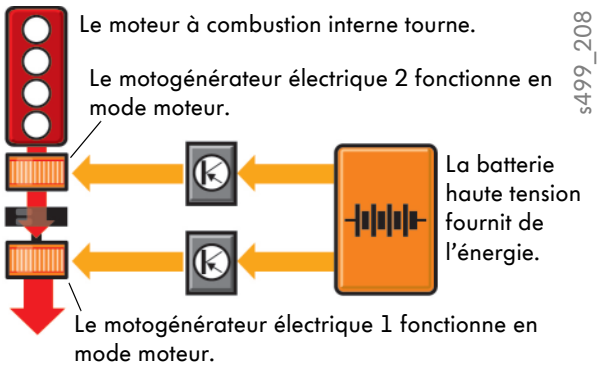
Conduite en mode série

Le motogénérateur électrique 2 démarre le moteur à combustion interne. Ensuite, le motogénérateur 2 fonctionne en tant que générateur et recharge la batterie haute tension. Cette dernière fournit de l'énergie pour la propulsion électrique du véhicule à l'aide du motogénérateur électrique 1. Cet état de fonctionnement est exceptionnel.



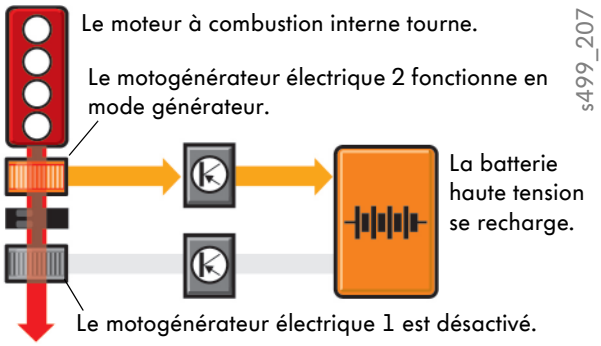
Surcouple électrique temporaire

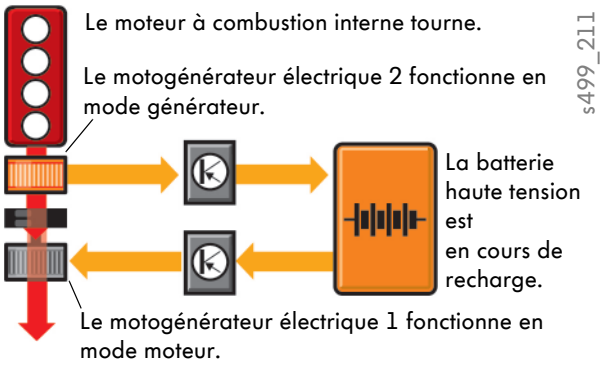
Le moteur à combustion interne et les motogénérateurs électriques accélèrent le véhicule. Cette fonction dépend de l'état de charge de la batterie haute tension.



Conduite à l'aide du moteur à combustion interne

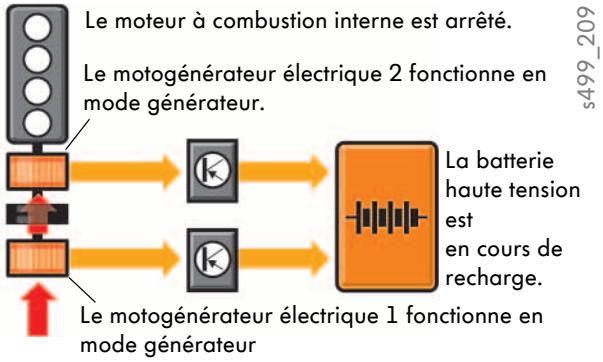
Si la batterie haute tension est totalement déchargée, la conduite électrique n'est plus possible.
Dans ce cas, le véhicule roule à l'aide du moteur à combustion interne et utilise simultanément l'excédent de puissance pour recharger la batterie haute tension à l'aide du motogénérateur électrique 2.





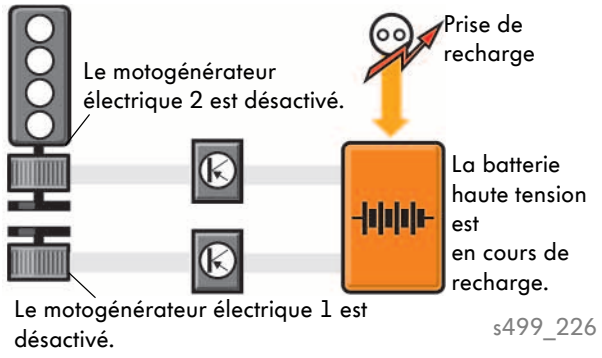
Conduite et recharge simultanées

En raison de la conception du système, il peut être nécessaire, pour effectuer le trajet planifié par le conducteur, que le moteur à combustion interne propulse le véhicule et que, dans le même temps, l'excédent de puissance soit utilisé pour recharger la batterie haute tension.



Récupération de l'énergie au freinage

Les deux motogénérateurs électriques peuvent être utilisés pour récupérer l'énergie au freinage, leur embrayage étant fermé. Cette énergie produite par la décélération du véhicule peut être transformée en tension continue par les deux électroniques de puissance et être stockée aussitôt dans la batterie haute tension.



Recharge externe

Lorsque le véhicule est en cours de recharge par une source externe, le réseau haute tension se trouve en mode repos. Les motogénérateurs électriques et les électroniques de puissance sont désactivés. Le câble de recharge est branché sur la prise de recharge située sur le véhicule. Lorsque le calculateur détecte une source électrique destinée à recharger la batterie haute tension, deux relais de protection se ferment. La recharge commence. Une fois que la capacité prévue est atteinte, la recharge s'arrête. Les consommateurs électriques qui restent activés dans le véhicule durant la recharge sont alimentés par la source de recharge externe.

La Golf blue-e-motion (BEV)

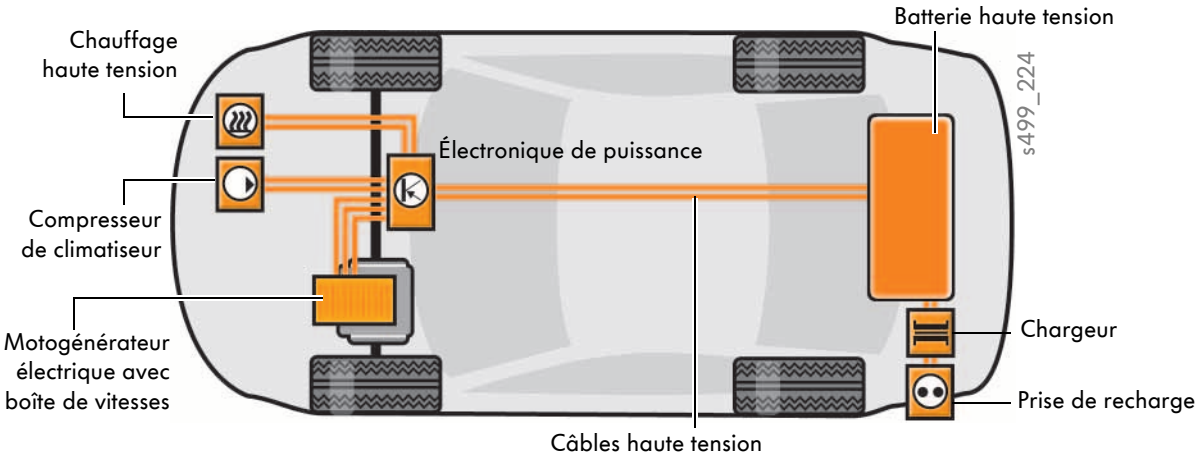
Exemple de la flotte d'essai 2011

La blue-e-motion est un véhicule purement électrique, sans moteur à combustion interne. Si l'on excepte le cas de la récupération, la batterie haute tension ne peut être rechargée que de manière externe, à l'aide d'une station de recharge, d'une prise secteur 230 V ou d'un câble de recharge raccordé à une borne publique. Outre le réseau haute tension, le véhicule possède un réseau de bord 12 V doté de sa propre batterie 12 V. Le motogénérateur électrique de 85 kW transmet directement la puissance aux roues motrices par l'intermédiaire d'un réducteur et d'un différentiel.

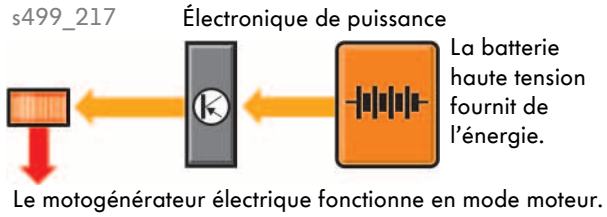
Ce véhicule se conduit de la même manière qu'un véhicule doté d'une boîte automatique ou d'une boîte DSG à double embrayage. Le réducteur possède un frein de stationnement mécanique. De plus, la voie de passage des rapports est dotée d'une position « B » (pour « Bremsrückgewinnung », ou récupération de l'énergie au freinage). Dans cette position, le système effectue la récupération maximale lorsque le conducteur lève le pied de l'accélérateur. De cette manière, le véhicule peut être freiné jusqu'à l'arrêt sans actionnement du frein. La chaleur du motogénérateur électrique n'est pas suffisante pour chauffer l'habitacle. C'est pourquoi la blue-e-motion est dotée d'un chauffage haute tension.

Conception

Organes propulseurs et composants haute tension

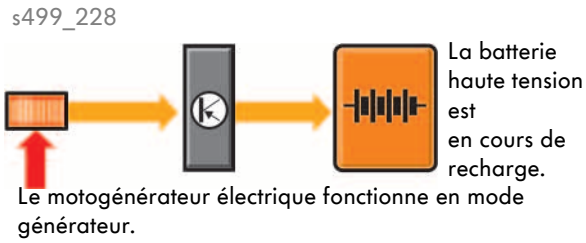


États de fonctionnement du BEV



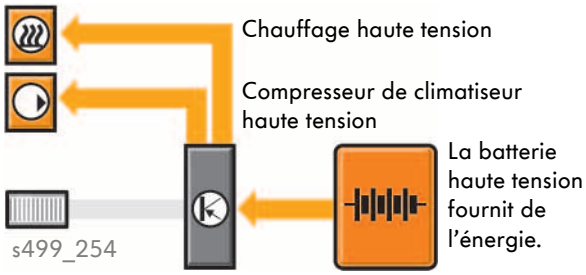
Conduite en mode électrique

Sur un véhicule purement électrique, la conduite en mode électrique est identique à celle d'un véhicule hybride ou hybride complet : la batterie haute tension fournit de l'énergie à l'électronique de puissance. Cette dernière transforme la tension continue en tension alternative permettant d'entraîner le motogénérateur électrique.



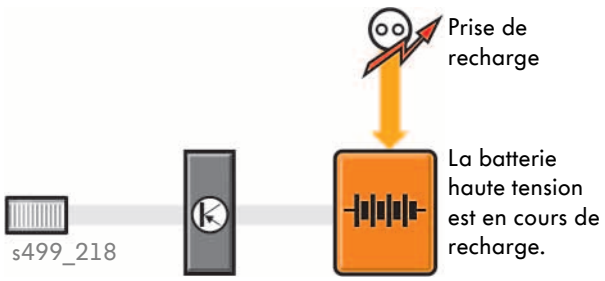
Récupération de l'énergie au freinage

Lorsque le véhicule électrique fonctionne en mode « roue libre » (il se déplace sans couple de propulsion du motogénérateur), une partie de l'énergie cinétique est envoyée dans la batterie haute tension par le motogénérateur qui fonctionne alors comme générateur.



Climatisation véhicule à l'arrêt

Lorsque le véhicule électrique se trouve par exemple dans un embouteillage, aucune production de puissance n'est exigée du motogénérateur. C'est un chauffage haute tension et un compresseur de climatiseur haute tension qui répondent aux exigences de confort des passagers.



Recharge externe

La recharge de la batterie haute tension s'effectue via la prise de recharge située sur le véhicule. Une fois la source de recharge externe raccordée, le véhicule se recharge automatiquement jusqu'à une valeur préréglée. La recharge s'arrête automatiquement. Si des consommateurs électriques sont utilisés durant la recharge, ils sont alimentés par le courant de recharge.

L'Audi A1 e-tron (RXBEV)

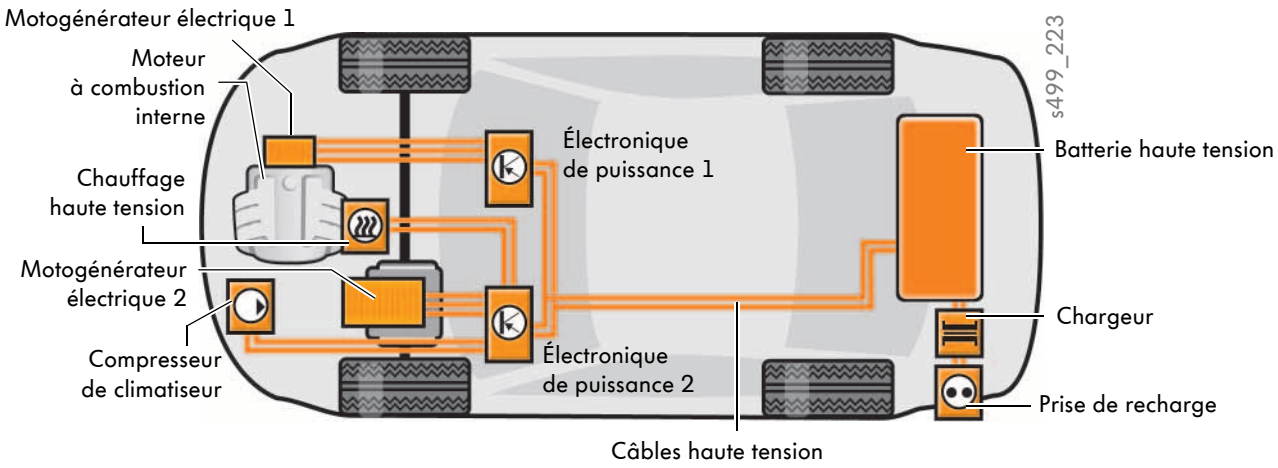
(Véhicule concept)

Il s'agit d'un exemple d'hybride à prolongateur d'autonomie (RXBEV).
Son système de propulsion comprend un moteur à combustion interne et deux motogénérateurs électriques. Cependant, contrairement aux systèmes décrits précédemment, le moteur à combustion interne ne possède aucune liaison mécanique aux essieux moteurs. La propulsion est exclusivement électrique.

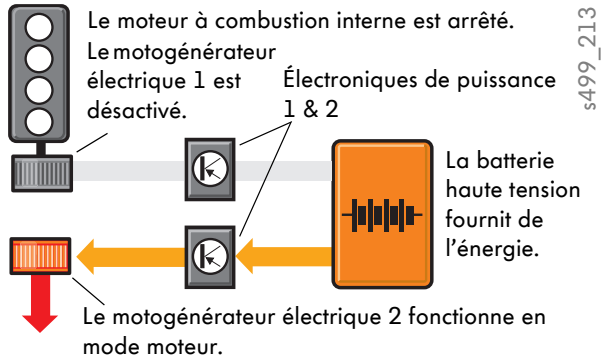
Le moteur à combustion interne entraîne le motogénérateur électrique 1, qui fonctionne en tant que générateur et recharge la batterie haute tension durant la marche. Dans cette configuration, le moteur à combustion interne fonctionne en utilisant sa cartographie optimale, où la puissance est élevée et la consommation réduite. Cette conception permet de prolonger l'autonomie du véhicule. La batterie haute tension est rechargée principalement de l'extérieur via la prise de recharge.
La possibilité de recharge mobile de la batterie à l'aide du moteur à combustion interne et du motogénérateur 1 en mode générateur peut être considérée comme une fonction de générateur de secours. Outre le réseau haute tension, le véhicule possède également un réseau de bord 12 V doté de sa propre batterie 12 V.

Conception

Organes propulseurs et composants haute tension

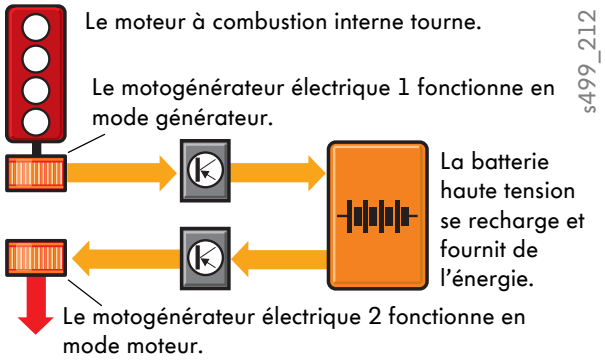


États de fonctionnement du RXBEV



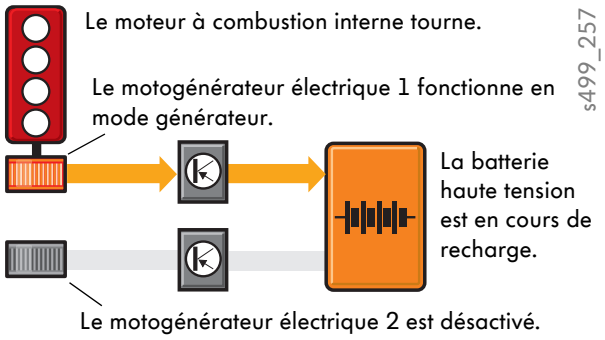
Conduite en mode électrique

Lorsque la batterie haute tension est rechargée, le véhicule roule en mode électrique, propulsé par le motogénérateur électrique 2. Les consommateurs électriques de confort (chauffage et compresseur de climatiseur haute tension) et la batterie du réseau de bord 12 V sont alimentés par l'électronique de puissance 2.



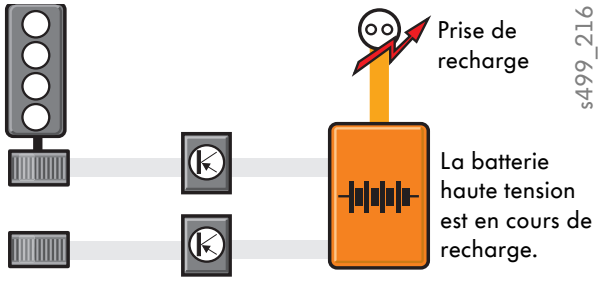
Conduite en mode électrique et recharge

La batterie haute tension est déchargée. Afin que le véhicule puisse poursuivre sa route, le moteur à combustion démarre. Il entraîne le motogénérateur électrique 1 et recharge ainsi la batterie haute tension. La propulsion du véhicule et la récupération sont assurées exclusivement par le motogénérateur électrique 2.



Recharge de la batterie véhicule à l'arrêt

Le véhicule ne dispose pas d'une source de tension externe pour recharger la batterie haute tension. Dans ce cas, le moteur à combustion interne peut recharger la batterie haute tension à l'arrêt par l'intermédiaire du motogénérateur électrique 1.



Recharge externe

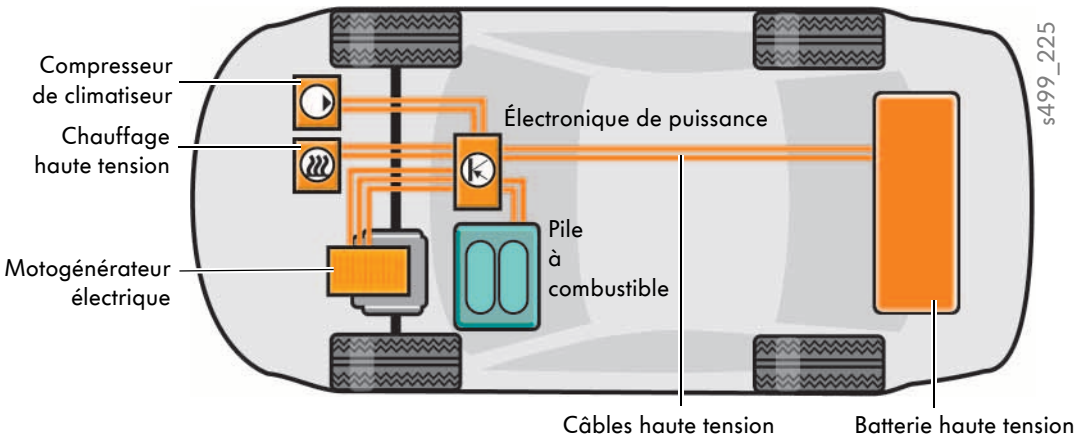
Le système haute tension et l'ensemble du système de propulsion sont désactivés. La batterie est rechargée par l'intermédiaire de la prise de recharge du véhicule, du chargeur haute tension et des deux relais de protection de charge. Le processus de charge est surveillé puis arrêté par le système de manière automatique.

Le Tiguan HyMotion (FCBEV)

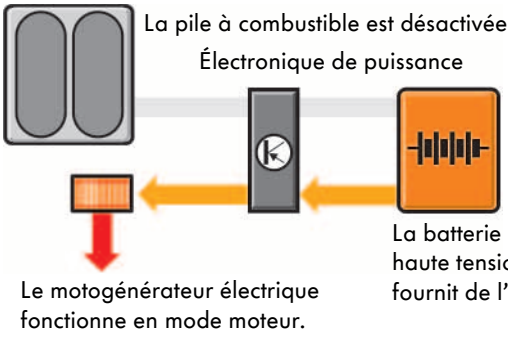
Un système de propulsion à pile à combustible a été mis en œuvre sur le HyMotion. Le véhicule possède un réservoir d'hydrogène et produit de l'énergie électrique pour le motogénérateur électrique à partir d'un module de pile à combustible. Dans ce module, l'hydrogène est transformé en eau en dégageant de l'énergie électrique. Selon l'état de fonctionnement, la charge électrique de la batterie haute tension peut être utilisée pour la propulsion.
Aucun moteur à combustion interne n'est monté sur le véhicule. La recharge externe de la batterie haute tension est prévue uniquement dans les ateliers, à l'aide d'un chargeur spécial. Outre le réseau haute tension, le véhicule possède également un réseau de bord 12 V doté de sa propre batterie 12 V.

Conception

Organes propulseurs et composants haute tension



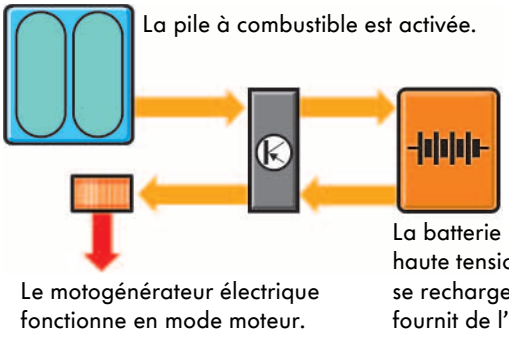
États de fonctionnement du FCBEV



s499_219

Conduite en mode électrique

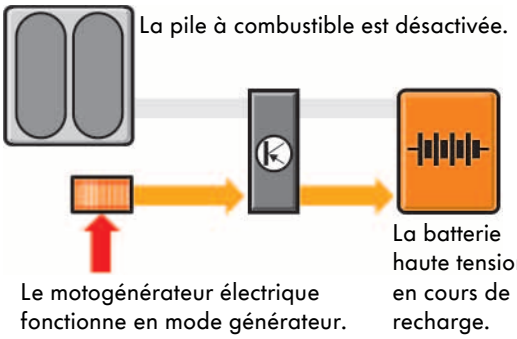
Lorsque la batterie haute tension est rechargée, le véhicule peut rouler en mode électrique. Dans ce cas, la pile à combustible ne fournit pas d'énergie et ne consomme pas d'hydrogène.



s499_220

Conduite en mode électrique et recharge

Si l'état de charge de la batterie haute tension l'exige, la pile à combustible est activée. L'hydrogène stocké dans les réservoirs, en réagissant avec l'oxygène de l'air, génère l'énergie électrique nécessaire à la conduite et à la recharge de la batterie haute tension.



s499_227

Récupération de l'énergie au freinage

La récupération de l'énergie au freinage est prise en charge exclusivement par le motogénérateur électrique. En phase de décélération, le motogénérateur électrique est commuté en mode générateur. Il recharge la batterie haute tension à l'aide de l'électronique de puissance.

Hydrogène de la pile à combustible

L'approvisionnement en hydrogène s'effectue sur des pompes spéciales. Le processus de ravitaillement est identique à celui du gaz naturel. L'hydrogène est refoulé dans des réservoirs sous pression situés sous le véhicule, jusqu'à une pression maximale de 700 bars. Compte tenu des propriétés physiques de l'hydrogène, 80 litres pèsent environ 6,44 kg. L'hydrogène parvient dans la pile à combustible via des réducteurs de pression. À une pression de service de 3 bars, la pile à combustible fournit une tension continue de 250 à 450 V.

Sécurité haute tension

L'électrification et l'hybridation croissantes des concepts de propulsion entraînent une utilisation accrue des systèmes haute tension dans l'automobile.

Que signifie « haute tension » ?

Les véhicules automobiles équipés de systèmes haute tension (HT) possèdent des composants qui fonctionnent à des tensions supérieures à 60 V en tension continue ou 25 V en tension alternative. Les composants de ces véhicules ont parfois besoin de puissances électriques importantes. Les réseaux haute tension des automobiles fonctionnent à des tensions continues pouvant atteindre 650 V, avec des courants de crête très élevés.

Quels sont les dangers liés à la manipulation de systèmes haute tension ?

Tous les mouvements du corps humain sont déclenchés par des signaux électriques. Toutes les réactions musculaires, comme le battement cardiaque ou le clignement des paupières, sont commandées par des excitations électriques. Ces excitations électriques circulent dans le corps en suivant des voies nerveuses, comme le courant dans un circuit électrique.
Lorsqu'une personne touche des composants HT conducteurs de tension, le courant électrique risque de traverser son corps. En fonction de la durée d'exposition, des courants continus d'environ 30 mA peuvent suffire à provoquer une perturbation passagère du rythme cardiaque. Un courant encore plus élevé peut provoquer des brûlures internes graves, voire une fibrillation ventriculaire.
En cas de court-circuit entre les deux bornes d'un système électrique, il peut se former un arc électrique. Sur le corps humain, ce phénomène peut provoquer des brûlures externes graves et rendre aveugle.

Systèmes de sécurité

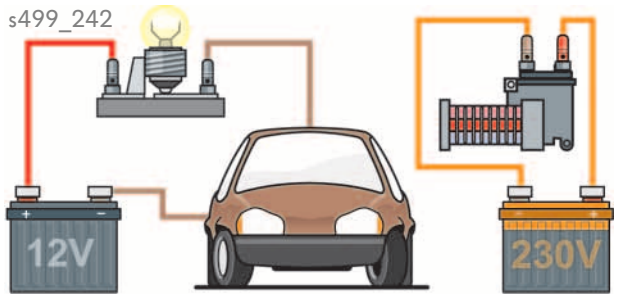
Tout risque de contact avec des composants HT sous tension doit être exclu.
Seul un personnel spécialisé est habilité à réaliser des travaux sur le système haute tension. Outre les repères de couleur et les autocollants d'avertissement figurant sur les composants, il existe des mesures techniques de sécurité. Le choix des dispositifs de sécurité est spécifique à chaque véhicule. Les pages suivantes présentent certains aspects de sécurité fondamentaux sans entrer dans le détail d'une configuration existant sur un véhicule donné.

Pour savoir quels sont les dispositifs de sécurité spécifiques dont dispose un véhicule, il suffit de consulter la documentation d'atelier.

Séparation électrique du réseau haute tension et du réseau de bord 12 V

Fonction

La séparation stricte du réseau haute tension et du réseau de bord 12 V a pour but de prévenir les courts-circuits involontaires du système haute tension de la masse du véhicule. Cette séparation du système haute tension de la masse de la carrosserie est également appelée séparation galvanique.



Réseau de bord 12 V Réseau haute tension

Fonctionnement

Pour parvenir à cette séparation, le système haute tension possède son propre dispositif de compensation de potentiel. Le réseau haute tension et le réseau de bord 12 V sont séparés galvaniquement l'un de l'autre, de sorte qu'il ne peut pas se produire de court-circuit non intentionnel, et donc de circulation de courant vers la masse de la carrosserie.

Alors que le courant du réseau de bord 12 V circule généralement par la masse du véhicule, tous les composants haute tension sont dotés de deux câbles sur lesquels est basé leur circuit électrique. Il n'existe pas de connexion à la masse de la carrosserie.

Coupure de la haute tension par « contact d'allumage coupé »

Fonction

La possibilité la plus simple pour désactiver le système haute tension et couper le réseau haute tension de la batterie haute tension consiste à tourner la clé de contact en position « Propulsion désactivée ».
Selon l'équipement du véhicule, cette opération peut également être réalisée à l'aide d'une touche « Engine off » (arrêt moteur), par ex. avec le système Keyless Entry.

Fonctionnement

Le contact-démarreur ou la touche « Engine off » sert de contacteur permettant d'interrompre le circuit électrique relié aux relais de protection du système haute tension (voir page suivante). Ce contacteur entraîne l'ouverture des relais de protection, et la batterie haute tension est déconnectée du réseau haute tension. Au bout d'un bref laps de temps, le système haute tension se trouve hors tension. La batterie haute tension elle-même et les câbles haute tension reliés aux relais de protection restent toutefois sous tension.

Sécurité haute tension

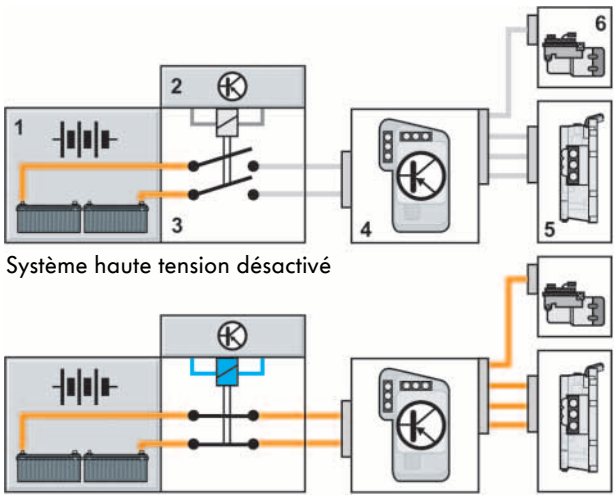
Relais de protection du système haute tension (contacteurs HT)

Fonction

La batterie haute tension est connectée au système haute tension. Chaque connexion haute tension possède son propre relais de protection, qui est capable de l'interrompre. Les relais de protection ont donc pour fonction de connecter la batterie haute tension au réseau haute tension du véhicule (contacteur fermé) ou de l'en déconnecter (contacteur ouvert).

Fonctionnement

Les relais de protection sont toujours commutés ensemble par le système haute tension. Lorsque les contacteurs sont hors tension, ils sont ouverts et la batterie haute tension est déconnectée du reste du réseau haute tension du véhicule. L'ordre d'ouverture peut être déclenché par différentes situations. L'ouverture des relais peut être déclenchée par l'arrêt du moteur et le retrait de la clé de contact tout comme par le déclenchement de l'un des autres systèmes de sécurité.



Système haute tension désactivé

Système haute tension activé

s499_244

1 Batterie haute tension
2 Système de gestion de la batterie
3 Relais de protection (contacteurs)
4 Électronique de puissance
5 Motogénérateur électrique
6 Compresseur de climatiseur

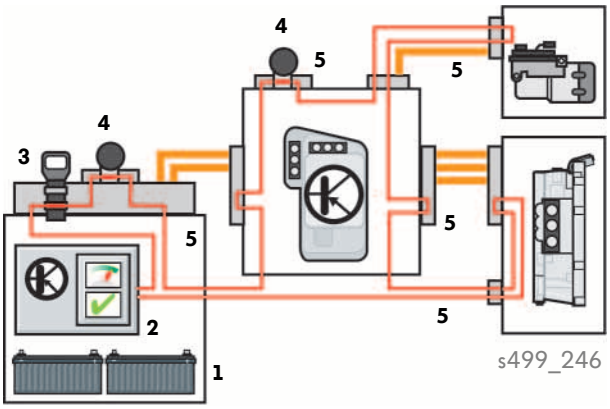
Consignes de sécurité

Seuls les Techniciens Haute Tension Volkswagen qualifiés sont habilités à réaliser des travaux sur le système haute tension. Pour utiliser les outils spéciaux haute tension dans les règles de l'art et en toute sécurité, il est impératif de respecter sans restrictions les instructions figurant dans la documentation du Service après-vente.

Ligne pilote

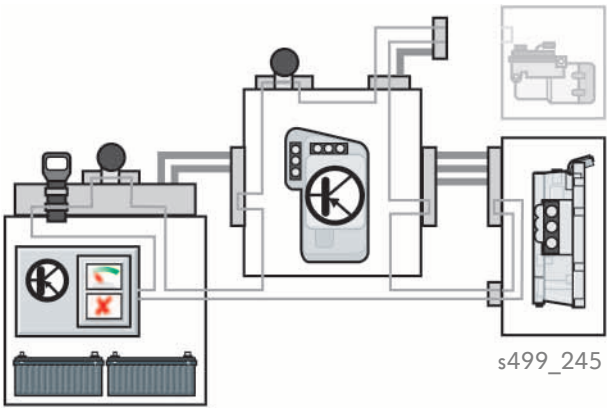
Fonction

La ligne pilote est un système de sécurité entièrement autonome. Elle vérifie que tous les composants haute tension sont raccordés correctement au système haute tension. La ligne pilote est un système basse tension.



Ligne pilote fermée

1 Batterie haute tension
2 Système de gestion de la batterie
3 Fiche de maintenance
4 Fiche de ligne pilote
5 Raccord de composant haute tension



Ligne pilote interrompue

Conception

La ligne pilote relie tous les composants haute tension. Le système vérifie que les raccords haute tension des composants intégrés à la ligne pilote sont connectés correctement. En fonction du véhicule, différents types de fiches sont intégrés dans la ligne pilote.

Fonctionnement

Dès que le contact haute tension d'un composant HT est coupé, par ex. en cas de remplacement d'un composant HT, le circuit électrique de la ligne pilote est interrompu. Il en va de même dès que l'une des fiches de la ligne pilote est débranchée. À l'instant même où le système haute tension constate que la ligne pilote est interrompue, ne serait-ce qu'en un seul point, il ouvre les relais de protection et la batterie haute tension est déconnectée du réseau haute tension.

Sécurité haute tension

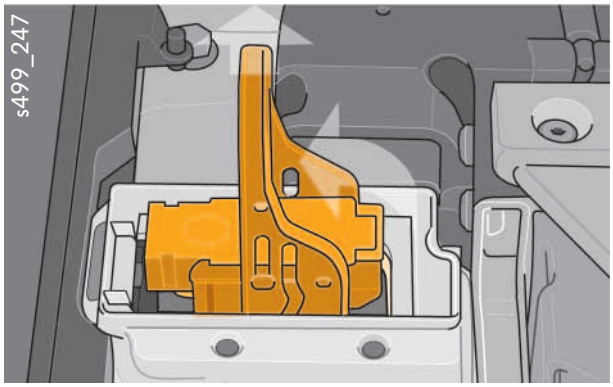
Sécurité lors de travaux de maintenance

Fonction

Afin d'offrir un dispositif de sécurité supplémentaire pour la mise hors tension du système HT lorsque des travaux sont réalisés sur le véhicule dans l'atelier, le système haute tension possède une fiche de maintenance, située en général à proximité de la batterie haute tension. Si l'on déverrouille la fiche de maintenance et qu'on la retire de son logement, les contacteurs s'ouvrent et la batterie haute tension est déconnectée du réseau haute tension. La fiche de maintenance peut également contenir le fusible principal de la batterie haute tension (par ex. sur le Touareg Hybrid 2011).

Conception : exemple du Touareg Hybrid 2011

La fiche de maintenance se trouve sous un cache de couleur orange situé à proximité de la batterie haute tension, dans le boîtier électronique. Il constitue un pont électrique entre les modules de la batterie haute tension, et fait en même temps partie de la ligne pilote. Avant de retirer la fiche de maintenance de son logement, il faut la déverrouiller.
L'aspect de la fiche peut varier en fonction du type du véhicule.



Fonctionnement

Le déverrouillage de la fiche de maintenance interrompt la ligne pilote, et entraîne par conséquent la désactivation du système haute tension. Les relais de protection (contacteurs) sont ouverts et séparent le réseau haute tension de la batterie haute tension.
Une fois la fiche de maintenance débranchée, les modules de la batterie haute tension sont séparés électriquement les uns des autres. Seuls les modules de batterie eux-mêmes sont alors encore porteurs d'une tension partielle.

Consignes de sécurité

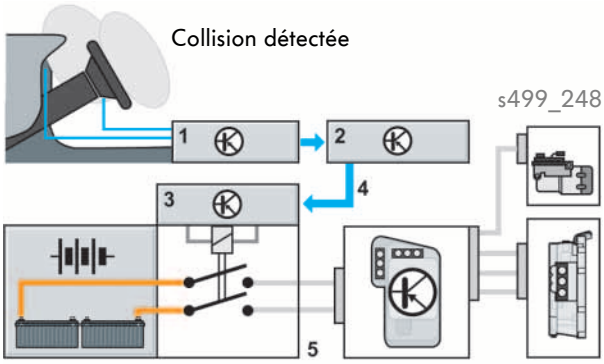
Observer impérativement les trois règles fondamentales de la sécurité haute tension :
1. Mettre le réseau HT hors tension.
2. Empêcher toute remise sous tension du véhicule.
3. Contrôler/constater l'absence de tension dans le réseau haute tension.

Cette procédure est désignée par le terme « mise hors tension certifiée » et ne doit être effectuée que par un Technicien Haute Tension.

Sécurité en cas de collision

Fonction

En cas d'accident, la désactivation du système haute tension et par conséquent la mise hors tension du réseau haute tension est très importante pour la protection des passagers, la sécurité des secouristes et la sécurité lors de la prise en charge des véhicules accidentés en vue de leur réparation. C'est pourquoi le dispositif de sécurité haute tension est couplé au système de détection des collisions par l'intermédiaire du calculateur de sac gonflable.



1 Calculateur de sac gonflable
2 Interface de diagnostic du bus de données
3 Calculateur de régulation de la batterie
4 Message CAN
5 Système haute tension

Fonctionnement

Dès que le calculateur de sac gonflable détecte un accident et déclenche les rétracteurs de ceinture ou les sacs gonflables, le calculateur de régulation de la batterie reçoit, via le bus de données CAN, l'ordre d'ouvrir les relais de protection.

En cas de déclenchement des rétracteurs de ceinture uniquement (premier niveau de déclenchement en cas de collision), il est possible de refermer les contacteurs en coupant et en remettant le contact d'allumage. Au deuxième niveau de collision, ce sont les rétracteurs de ceinture et les sacs gonflables qui se déclenchent. Les contacteurs ne peuvent alors être refermés qu'à l'aide du contrôleur VAS.

Consignes de sécurité

Pour connaître les différentes possibilités de désactivation du système haute tension dans un véhicule accidenté, veuillez consulter systématiquement le Manuel de secours du véhicule correspondant.

Sécurité haute tension

Sécurité lors de la recharge externe

Si le véhicule dispose d'une prise pour effectuer une recharge externe, des relais de protection supplémentaires sont intégrés au circuit de recharge. Ceux-ci n'établissent le contact entre la batterie haute tension et les prises de recharge que lorsque le système a constaté que la prise de recharge est connectée et qu'une tension est appliquée. La recharge peut être réalisée en toute sécurité, y compris lorsqu'il pleut ou que les contacts sont mouillés.

Surveillance de la résistance d'isolement

Durant le fonctionnement du véhicule haute tension, le calculateur de régulation de la batterie envoie une tension de contrôle. La tension de contrôle est de 500 V, mais le courant est très faible. Cette tension n'est donc pas dangereuse pour l'homme.

Si tous les câbles et composants haute tension sont correctement isolés et blindés, le calculateur calcule et compare la résistance totale du système haute tension préalablement réglée. Si l'isolation d'un câble a subi un dommage extérieur, par ex. une morsure de rongeur, la valeur de résistance change.
Grâce à ce changement de résistance, le calculateur reconnaît un défaut d'isolation. Selon la gravité du défaut, différents messages sont affichés sur le combiné d'instruments du véhicule.

s499_277

Un câble haute tension endommagé doit être systématiquement remplacé. Il n'est pas possible de remettre l'isolation en état en raison du système de surveillance de la résistance d'isolation. De très petits écarts de résistance, par ex. en cas d'intempéries avec pénétration de sel, suffisent à générer un défaut d'isolation.

Autocollants d’avertissement

Différents avertissements sensibilisent l’utilisateur d’un véhicule électrique aux particularités de la technologie haute tension.

Avertissements relatifs à la haute tension

s499_273

Ne pas mettre en circuit !
Travaux en cours sur le système haute tension

s499_269

Prudence ! Haute tension !

s499_271

Attention !
Composants sous haute tension !
Avant d’effectuer des travaux sur le système haute tension, procéder à une mise hors tension certifiée.

s499_270

Haute tension !
Risque d’électrocution en cas de contact !
Mettre le système haute tension hors service.

s499_272

Attention ! Batterie haute tension !
Une erreur de manipulation peut provoquer des blessures.

- Haute tension
- Risque d’explosion
- Risque de brûlures chimiques et de blessures aux yeux

Qualification haute tension

Remarques fondamentales

- Personne n'a le droit d'effectuer quelque travail que ce soit sur un véhicule haute tension s'il ne possède pas la qualification et les outils spécifiques.
- Les ateliers Volkswagen du monde entier sont tenus de qualifier leurs collaborateurs de sorte que ceux-ci aient au moins le statut de Personne initiée à l'électricité (EuP).
- La documentation du Service-après vente actuelle contient la liste des travaux pour lesquels le système haute tension doit être désactivé sur un véhicule électrique donné.
- De nombreuses rubriques de travail peuvent être réalisées sur un véhicule haute tension sans que le système HT ne doive faire l'objet d'une mise hors tension certifiée. Ces travaux peuvent en général être réalisés par une EuP.

Tout collaborateur de l'établissement partenaire Service qui travaille au contact, ou est susceptible de se trouver au contact d'un véhicule haute tension, doit être au moins qualifié en tant que « Personne initiée à l'électricité » (EuP).
Seul un Technicien haute tension (HVT) est habilité à réaliser des travaux sur le système HT hors tension.

Exigences imposées aux personnes

Toute personne souhaitant devenir Technicien haute tension doit posséder les connaissances de base en électrotechnique.
En Allemagne, disposent de connaissances préalables adéquates les personnes exerçant les métiers suivants (dans les autres pays, ces connaissances dépendent de la législation nationale) :

- Mécaniciens, électriciens et mécatroniciens automobiles ayant commencé et terminé leur formation après 1973.
- Carrossiers et mécaniciens automobiles ou mécaniciens de remise en état des carrosseries ayant commencé et terminé leur formation après 2002.
- Personnes pouvant apporter la preuve d'une formation complémentaire comme technicien Service, agent de maîtrise ou ingénieur automobile.

Le niveau d'exigence est susceptible de varier d'un pays à l'autre.

Les trois piliers de la qualification

Parmi les personnes habilitées à réaliser des travaux sur les véhicules haute tension, on distingue, selon leur qualification en matière de haute tension :

- les Personnes initiées à l'électricité (EuP)
- les Techniciens haute tension (HVT) et
- les Experts haute tension (HVE)

Personne initiée à l'électricité (EuP) – partenaire agréé	**Technicien haute tension (HVT) – partenaire agréé**	**Expert haute tension (HVE) – importateur**
Qualification : - Pas de prérequis - Sensibilisation du collaborateur - 90 minutes sur le véhicule - Enseignement EuP disponible sur Volkswagen Training Online (VTO)	Qualification : - Connaissances de base en électrotechnique requises - 2 jours technique haute tension - 1 jour technique produit haute tension	Qualification : - Statut HVT requis - 3 jours de formation en présence
Habilitation : - La EuP peut effectuer des travaux généraux sur le véhicule et des opérations mécaniques déléguées par le Technicien haute tension (HVT) sur le système HT hors tension.	Habilitation : - Idem EuP Le HVT peut en outre : - Mettre le système hors tension. - Empêcher toute remise sous tension. - Constater l'absence de tension. - Charger une EuP d'effectuer des travaux sur le système haute tension désactivé. - Remettre le véhicule en service.	Habilitation : - Idem HVT L'HVE peut en outre : - Désactiver et sécuriser le système haute tension par tous les moyens possibles.

Les pages suivantes présentent les différentes voies de qualification.
99,9% de tous les travaux sur le véhicule haute tension peuvent être réalisés par une EuP ou un HVT.
Ces deux groupes de personnes doivent être qualifiés chez un partenaire agréé.
Dans les cas particuliers où le Technicien haute tension n'est pas en mesure d'effectuer une mise hors tension certifiée ou de constater l'absence de tension à l'aide des méthodes et des outils de mesure mis à sa disposition, l'importateur dépêche un Expert haute tension (HVE).

Qualification haute tension

Personne initiée à l'électricité (EuP)

Prérequis

Aucun prérequis n'est exigé pour se qualifier en tant que EuP.

Qualification

La qualification s'effectue sur un véhicule haute tension spécifique durant environ 90 minutes. La EuP est sensibilisée à la haute tension par un Technicien haute tension à l'aide des documents de formation à la sécurité pour les EuP et obtient ainsi la qualification requise.

Les documents de formation à la sécurité pour les EuP sont rédigés spécialement pour chaque véhicule haute tension et publiés dans les différentes langues via Volkswagen Training Online (VTO).

L'enseignement est dispensé par le Technicien haute tension pour un modèle de véhicule haute tension donné.

Habilitations

L'enseignement a pour but de sensibiliser le collaborateur au système haute tension.

La EuP peut effectuer des travaux généraux sur le véhicule et des opérations mécaniques déléguées par le Technicien haute tension (HVT) sur le système HT hors tension.

Technicien haute tension (HVT)

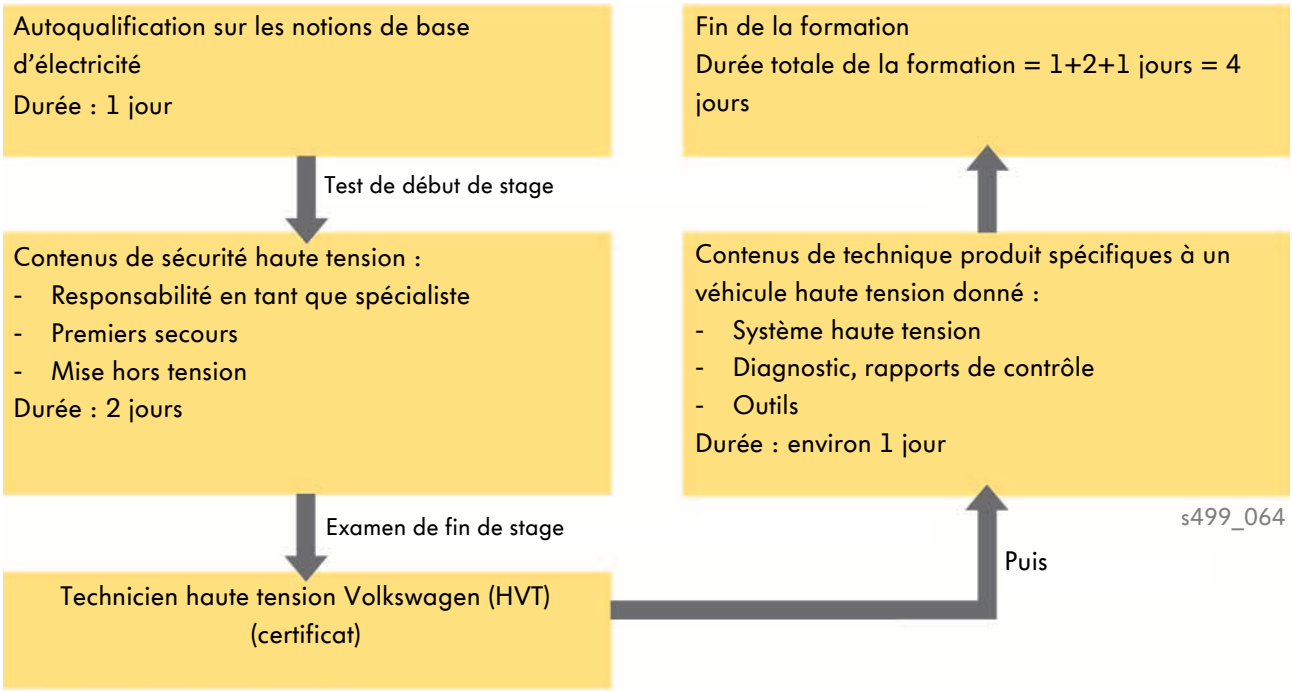
Qualification internationale

- Participation et réussite au module de formation « Diagnostic VAS 505X » ou connaissances équivalentes
- Participation et réussite au module de formation « Notions fondamentales d'électricité » ou connaissances équivalentes
- Participation et réussite au module de formation « Dépannage systématique des équipements électriques » ou connaissances équivalentes
- Participation et réussite au module de formation « Alimentation en énergie et systèmes de démarrage » ou connaissances équivalentes
- Programme autodidactique 450 « Le Touareg Hybrid »
- Programme autodidactique 499 « Connaissances de base en propulsion électrique automobile »
- Formation multimédia « Électricité 1 », « Électricité 2 » et « Électricité 3 »
- Vérification des conditions d'admission par l'importateur.
- Test de début de stage sur les connaissances de base en électrotechnique [QCM] (80 % de bonnes réponses).
- Participation à la formation en présence d'une durée de deux jours
- Examen de fin de stage, comprenant 60 questions (50 % de bonnes réponses)
- Une fois l'examen réussi : certificat de Technicien haute tension Volkswagen
- Formation à la technique produit spécifique d'un nouveau véhicule haute tension : 1 jour

À l'avenir, chaque nouveau véhicule haute tension sera assorti d'une mesure de qualification « Technique produit » spécifique, d'une durée de un jour.
Il est de la responsabilité du Technicien haute tension de se tenir en permanence informé de l'état de la technique. Sa participation aux formations spécifiques consacrées aux différents véhicules haute tension est nécessaire.

Qualification haute tension

Mise en œuvre de la mesure de qualification



Responsabilité du Technicien haute tension en tant que spécialiste

Il est de la responsabilité du HVT de veiller à ce que tous les collaborateurs d'un distributeur/revendeur ou de l'importateur qui touchent ou sont susceptibles de toucher au véhicule haute tension soient au moins qualifiés en tant que Personne initiée à l'électricité (EuP). Cet enseignement est spécifique à un véhicule haute tension donné et doit être réitéré pour chaque nouveau modèle haute tension. La dernière version des documents est disponible sur Volkswagen Training Online (VTO).

Les qualifications de EuP et de HVT permettent de traiter 99,9 % des cas réalistes de travaux sur les véhicules haute tension.

Expert haute tension (HVE)

Si le Technicien haute tension (HVT) n'est pas en mesure d'effectuer une mise hors tension certifiée du système haute tension d'un véhicule à l'aide des procédés de mesure et des outils de mesure prescrits par le constructeur, son habilitation à travailler sur ce véhicule haute tension prend fin.
Le Technicien haute tension doit informer l'importateur. Ce dernier doit quant à lui dépêcher un Expert haute tension (HVE) ou se faire parvenir le véhicule.

Prérequis

Le prérequis pour se qualifier en tant qu'Expert haute tension (HVE) est la qualification de Technicien haute tension (HVT).

Qualification

Formation technique de 3 jours
Le stage se déroule exclusivement chez le constructeur.

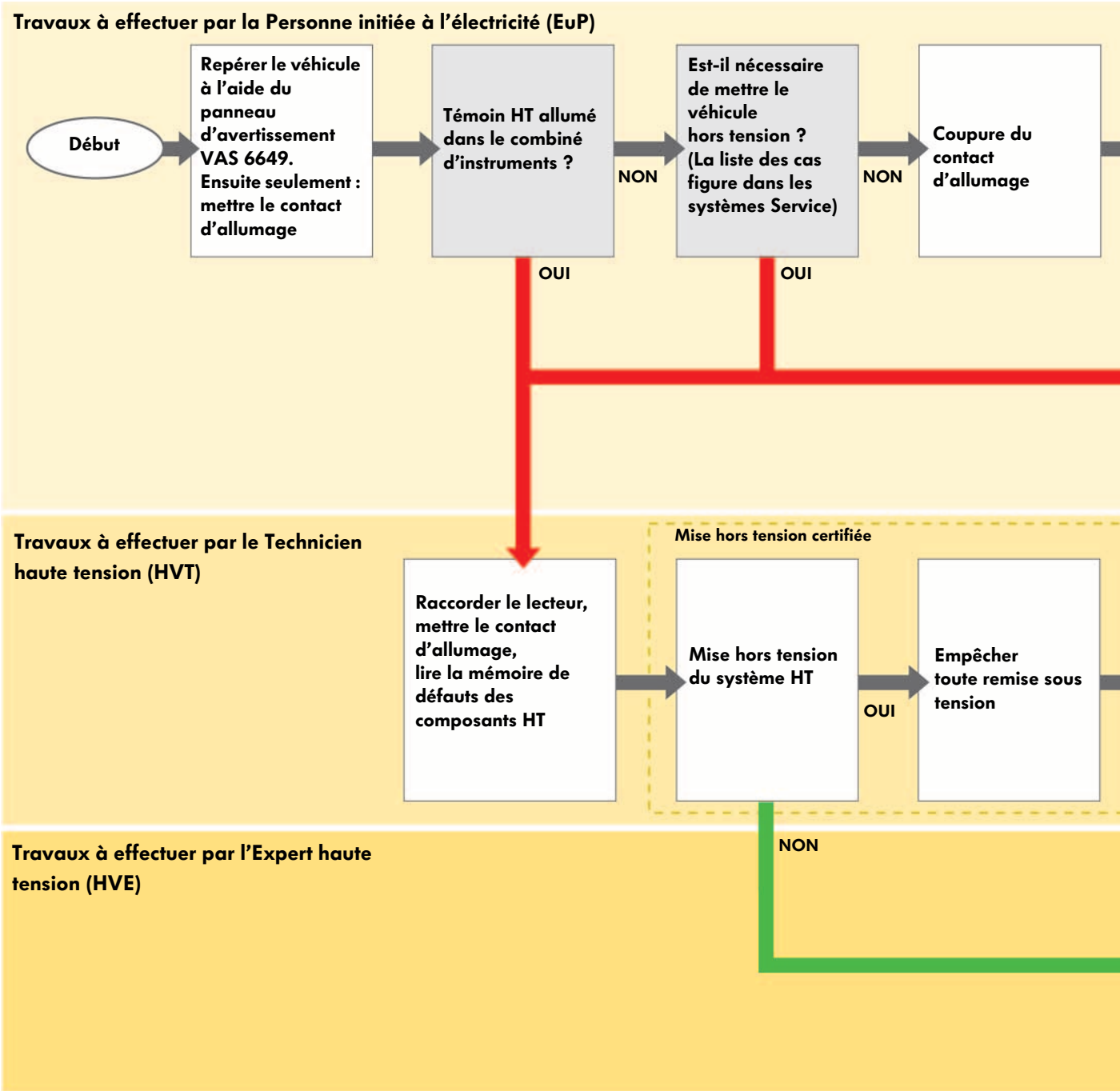
Contenus :

- Responsabilité de l'HVE en tant que spécialiste
- Connaissances et exercices pratiques sur l'opération consistant à constater / à évaluer le potentiel haute tension
- Mesures de protection contre le courant électrique
- Exercices pratiques sur la sécurisation d'un système haute tension défectueux
- Dépose de la batterie haute tension de véhicules haute tension spécifiques
- Stockage de la batterie haute tension endommagée
- Utilisation d'outils protégés contre des tensions de 1 000 V durant le stage et les exercices pratiques

Passages à l'atelier

Vue d'ensemble

Le schéma suivant représente le passage à l'atelier de véhicules haute tension en cas d'entretien, de réclamation haute tension, de travaux à proximité du système haute tension ou sur le système haute tension lui-même, et en cas de véhicules endommagés à la suite d'un accident léger ou grave.

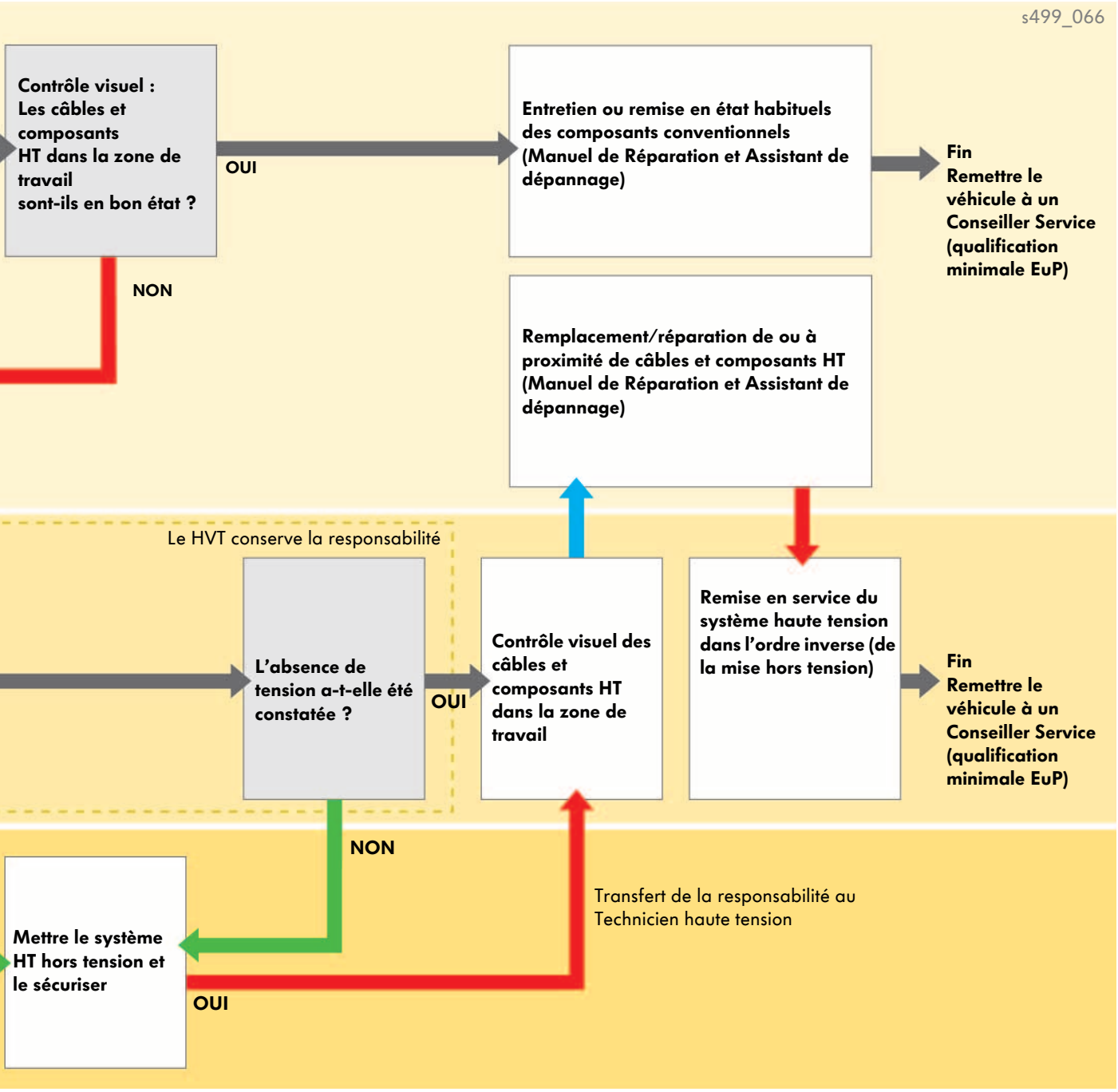


Légende

Faire intervenir Personne initiée à l'électricité (EuP)

Faire intervenir Technicien haute tension (HVT)

Faire intervenir Expert haute tension (HVE)



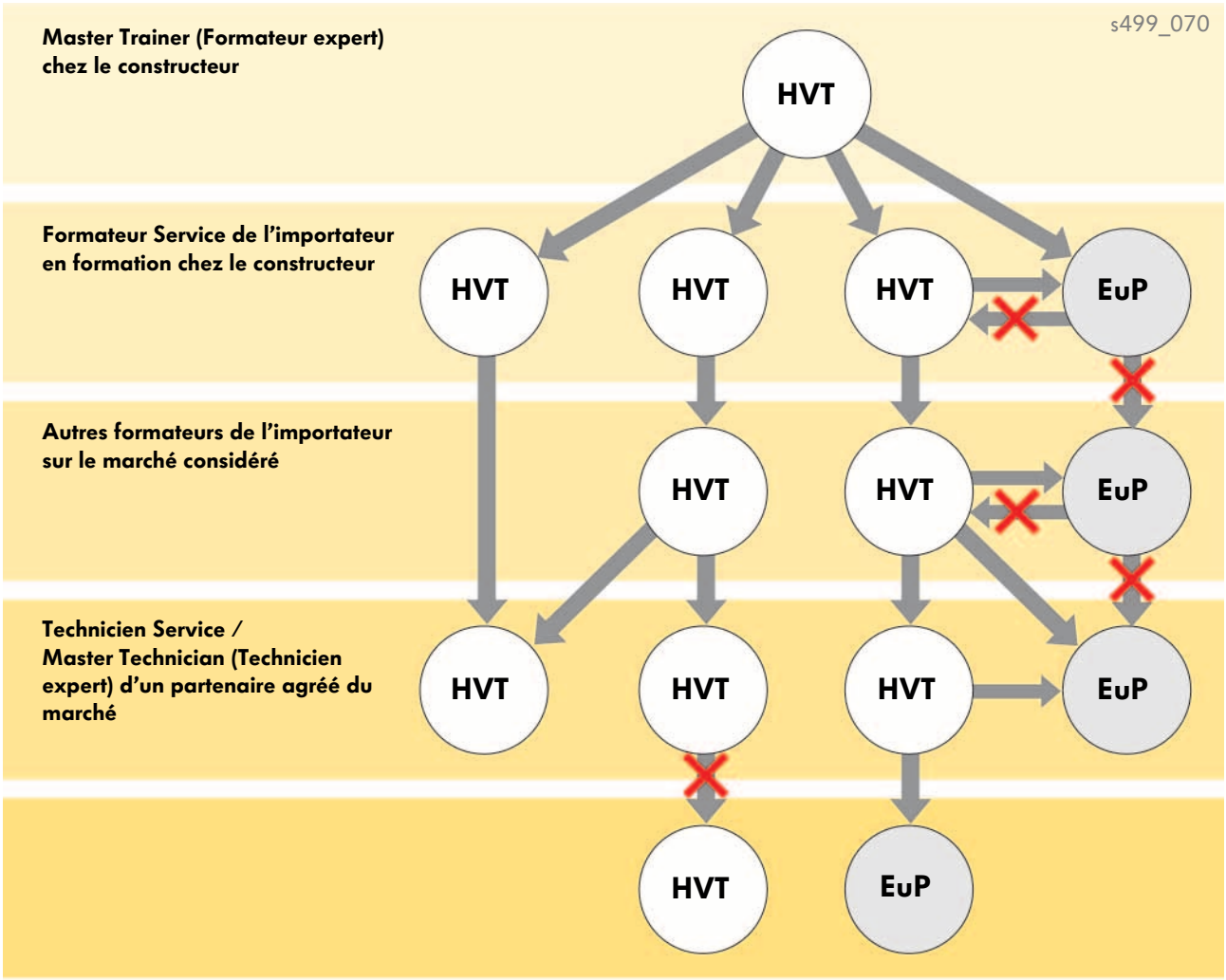
Qualification haute tension

Principe de diffusion maximale

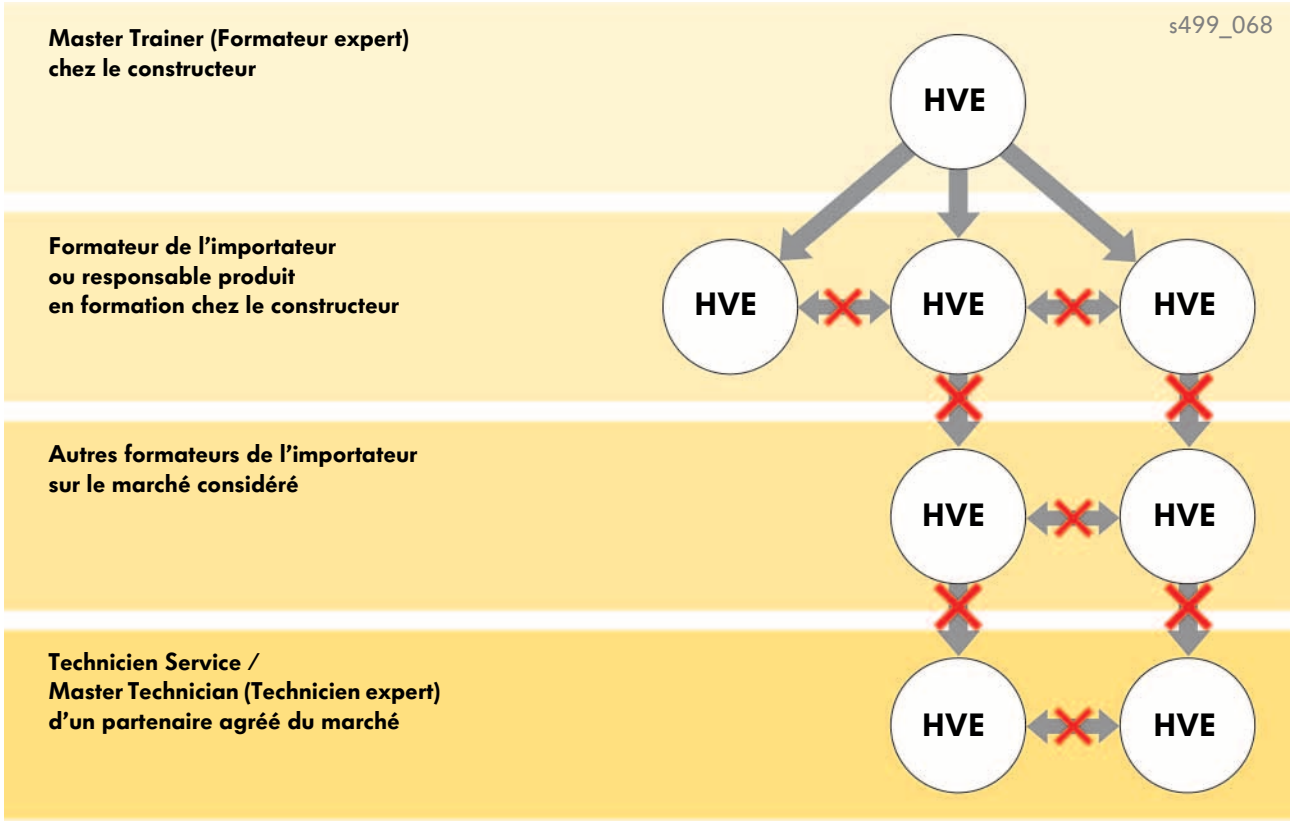
Les collaborateurs de l'importateur qui souhaitent devenir Technicien haute tension participent à la qualification chez le constructeur.
Une fois l'examen de fin de stage réussi, ces HVT sont habilités à former leurs collègues chez l'importateur pour leur faire acquérir le statut de HVT. Ensuite, tous les HVT de l'importateur peuvent qualifier les Techniciens Service des partenaires agréés de leur marché en tant que HVT. Chaque HVT, de l'importateur jusqu'au partenaire agréé, a pour responsabilité de sensibiliser les collaborateurs de son secteur afin qu'ils obtiennent le statut de EuP.

Le HVT du partenaire agréé n'est pas habilité à former une quelconque autre personne en tant que HVT.
Cette tâche est réservée exclusivement à l'importateur et au constructeur.

Qualification Technicien haute tension (HVT)



Qualification Expert haute tension (HVE)



La qualification portant sur une vaste sélection de véhicules et sur composants haute tension défectueux, elle a lieu exclusivement chez le constructeur. Compte tenu des habilitations, ce stage ne doit pas être utilisé exclusivement pour les formateurs des importateurs.
L'accent est mis sur le groupe cible des responsables produit des importateurs.
La seule condition préalable à remplir pour participer à ce stage est d'avoir obtenu la qualification de Technicien haute tension.

Infrastructure de recharge pour les véhicules haute tension

Durant la recharge de la batterie haute tension, le véhicule haute tension peut absorber une puissance électrique comprise entre 3,3 kW et 10 kW environ.
Ex. : sur une prise de courant domestique allemande (230 V en courant alternatif)

La prise de courant domestique classique comporte une seule phase et fournit, pour une tension de 230 V, un courant maximal de 16 A.

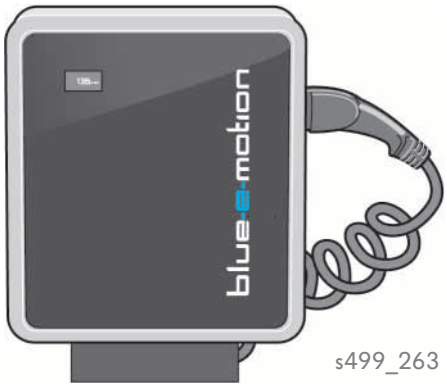
- $P_{(monophasée)}$ = U x I
  = 230 V x 16 A [1 VA ~ 1 W]
  = 3 680 W = 3,68 kW (valeur absolue)

En raison des pertes électriques survenant durant la recharge (pertes ohmiques), la valeur absolue doit être ramenée à une valeur de 3,3 kW.

Si le véhicule haute tension peut être rechargé sur une prise triphasée, la puissance électrique transférée à la batterie haute tension est multipliée par trois. Le processus de charge est alors nettement plus court que celui en monophasé.

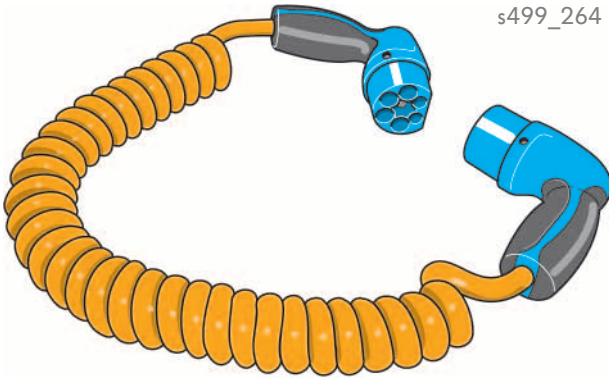
- $P_{(triphasée)}$ = 3,3 kW x 3
  = 9,9 kW

À l'avenir, le client se verra proposer trois possibilités de recharge pour son véhicule haute tension.

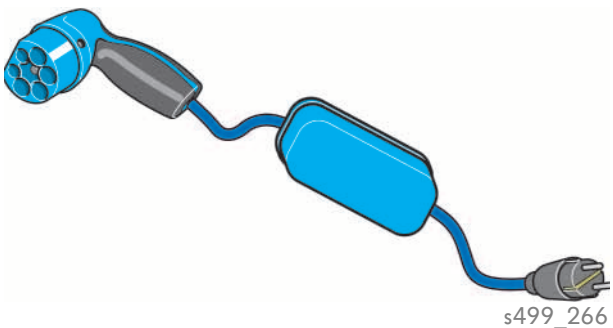


s499_263

Boîtier de recharge pour particuliers


s499_264

Câble de recharge 380 V


s499_266

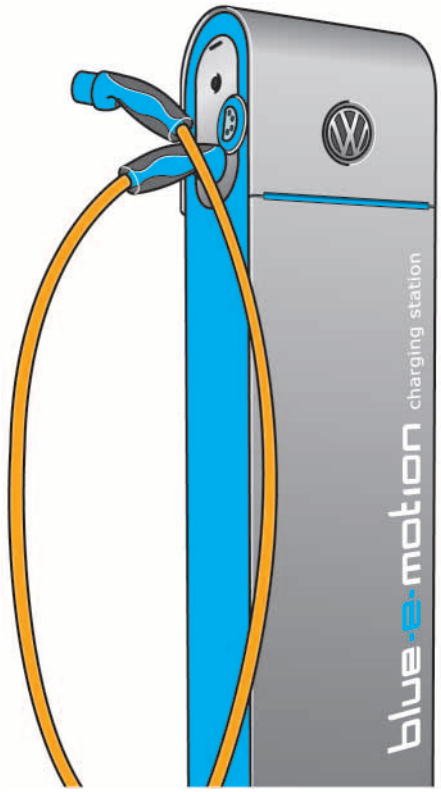
Câble de recharge 230 V

Avant d'acheter un véhicule haute tension avec possibilité de recharge externe, un client doit faire réaliser un contrôle de raccordement à son domicile. Il convient en effet de s'assurer que le réseau électrique domestique est en mesure de fournir durablement un courant élevé pour la recharge de la batterie haute tension. Ce test de résistance est actuellement réalisé par un installateur-électricien. Par la suite, cette tâche pourrait incomber au distributeur/réparateur.

Le boîtier de recharge est entièrement mis en service chez le client et raccordé à son réseau domestique. Dans le cas optimal, le boîtier est installé en mode de recharge triphasée. Cette option dépend toutefois de l'infrastructure électrique qui existe dans la maison ou l'appartement du client.

Dans de nombreuses grandes villes, les compagnies d'électricité offrent aux utilisateurs de véhicules haute tension la possibilité de recharger leur batterie haute tension sur une borne de recharge publique. Ces bornes de recharge sont dans la plupart des cas de type triphasé.

Lorsque l'utilisateur est en déplacement, il peut recharger sa batterie haute tension sur une prise de courant classique. Le boîtier de commande situé à mi-longueur du câble permet de faire varier l'intensité du courant. Cet élément permet de sécuriser la charge en ne surchargeant pas le réseau électrique. Le boîtier contient en outre un disjoncteur différentiel. C'est avec ce mode de recharge que la durée de recharge de la batterie haute tension est la plus longue.

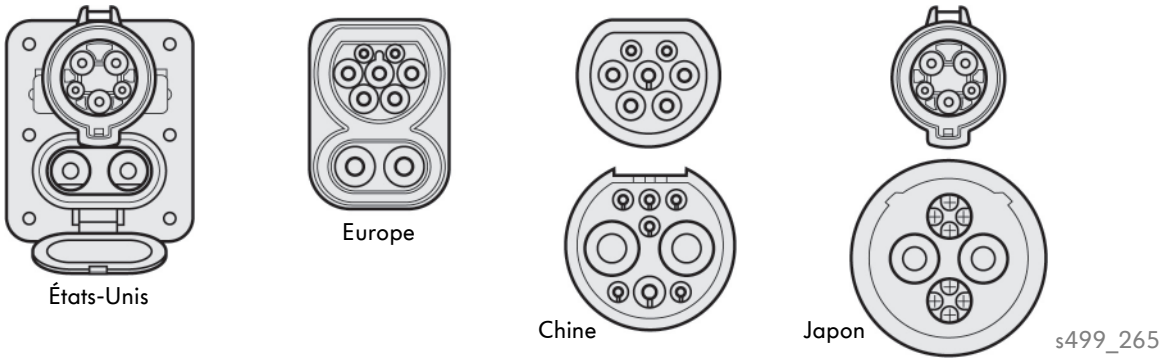


s499_268

Borne de recharge publique

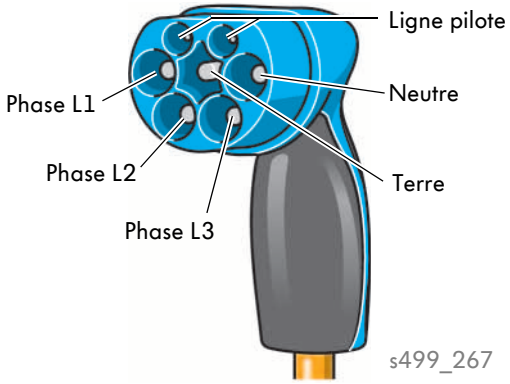
Perspectives pour le Service

Types de fiches



Dans le monde entier, les véhicules électriques les plus divers, comme les vélos, les véhicules légers, les scooters, les véhicules pour personnes à mobilité réduite ou les fauteuils roulants, possèdent chacun leur propre type de fiche.
Des négociations entre constructeurs automobiles allemands ont permis de s'accorder sur un type de fiche unique.

La fiche normalisée VDE pour la recharge des batteries haute tension des véhicules (VDE = Verband der Elektrotechnik, ou fédération allemande des industries de l'électrotechnique)



Fiche normalisée VDE pour la recharge de batteries haute tension

Cette fiche bleue est livrée en combinaison avec le boîtier de recharge individuel installé chez le client, le câble de recharge pour réseaux publics et le câble domestique permettant de recharger à partir de n'importe quelle prise de courant classique.
La recharge peut s'effectuer en triphasé 380 volts ou en monophasé 230 volts. Les raccords L1, L2 et L3 correspondent aux phases (de 230 volts chacune).
Les phases étant décalées de 120°, la tension effective est de 400 volts.
Afin de garantir la sécurité électrique, la carrosserie du véhicule est mise à la terre via la prise secteur durant le processus de charge (conducteur de protection).
Le contact de sûreté de la fiche de recharge active le chargeur embarqué. Lorsque le câble est branché, le véhicule ne peut pas circuler.

Les contacts enfichables sont conçus de manière à ne pas être dangereux au toucher (classe de protection IPXXB). De plus, une ligne pilote prioritaire est intégrée à la fiche.
Avec cette fiche et la prise de recharge du véhicule, le processus de charge peut être réalisé en toute sécurité quelles que soient les conditions météorologiques.

Services à distance

Le téléphone mobile comme télécommande du véhicule électrique

Un téléphone mobile disposant de fonctions Internet à la manière d'un ordinateur miniature est appelé téléphone intelligent ou ordiphone. Grâce à cet accès à Internet, et donc à la connexion au réseau, il est possible de commander certains composants du véhicule électrique.
En téléchargeant une application additionnelle (app), on peut adapter le téléphone intelligent au véhicule.

s499_262

Exemple : écran de commande à distance en langue allemande sur un téléphone intelligent

L'utilisateur peut utiliser les fonctions suivantes de l'app :

- Affichage de l'état de charge de la batterie haute tension
- Autonomie prévisible du véhicule électrique
- En cas de recharge de la batterie haute tension, possibilité de surveiller la durée de recharge
- État du véhicule : verrouillé, fenêtres fermées, fiche de recharge branchée
- Réglage de la demande de climatisation de l'habitacle
- Recharge différée pour profiter des tarifs de nuit avantageux de l'électricité
- Informations du véhicule, comme la consommation moyenne en kWh/100 km
- Affichage des consommateurs électriques de confort en kWh/100 km
- Position actuelle du véhicule
- Prochaine possibilité de recharge publique
- Planification de l'autonomie électrique restante du véhicule hybride
  Cette fonction prendra tout son intérêt lorsque seuls les véhicules à émission zéro (VEZ), c'est-à-dire n'émettant aucun gaz d'échappement direct, auront le droit de circuler dans certains centre-villes, comme à Londres.
  Sur certains véhicules hybrides d'une autonomie électrique d'environ 50 km, le téléphone intelligent permet de planifier l'itinéraire.

Perspectives pour le Service

Think Blue.

Avec « Think Blue. » (Pensez bleu.), Volkswagen explore les voies permettant de concilier mobilité individuelle et comportement écoresponsable.
La propulsion d'un véhicule électrique ne génère aucune émission directe. Pour assurer la propulsion du véhicule, la batterie haute tension a toutefois besoin d'être rechargée. Pour être en cohérence avec les mesures de réduction des émissions de CO2, l'énergie électrique de la source de recharge externe doit provenir de technologies durables. Un véhicule électrique utilise avec une très grande efficacité l'énergie produite.
L'objectif est que les êtres humains utilisent les ressources naturelles à bon escient.

« Think Blue. » va encore plus loin.
Le concept invite le public à avoir une idée d'avance et démontre qu'il est possible d'adopter un comportement respectueux de l'environnement sans renoncer à tout, et que l'on peut même y trouver du plaisir.

« Think Blue. » se nourrit du dialogue avec les clients. Le slogan a été repris de la campagne publicitaire conçue dans les années 60 pour la Coccinelle : « Think Small ». À cette époque, la Volkswagen Coccinelle symbolisait la mobilité accessible à tout un chacun. La page Web **www.volkswagen.com/thinkblue** permet aux personnes intéressées d'obtenir des informations sur les modes de conduite économiques en carburant, la viabilité écologique et la manière d'utiliser les ressources à bon escient.
Cette prise de conscience commence par de petites choses.
Est-il indispensable de laisser en permanence le téléviseur en veille ?
Ne pourrait-on pas se contenter d'ouvrir la fenêtre, plutôt que de mettre en marche le climatiseur ?
Est-il plus économique en énergie de laisser les volets ouverts durant la journée et d'éteindre la lumière ?
Le covoiturage est-il plus efficace du point de vue de la réduction des émissions de CO_2 ?
Comment puis-je faire des économies d'eau à la maison ?

Prendre conscience des potentiels d'économie n'est pas un préambule au renoncement.
L'objectif recherché, c'est de prendre plaisir à économiser : c'est la « Fun Theory ».

Le concept générique « Think Blue. » rassemble les contenus techniques des concepts suivants :
- « BlueMotion »
- « BlueMotion Technologies »
- « EcoFuel »
- « Blue TDI »
- « BiFuel »
- « Hybrid »
- « blue-e-motion »
- « Think Blue. Factory. » La production automobile à faible émission de carbone

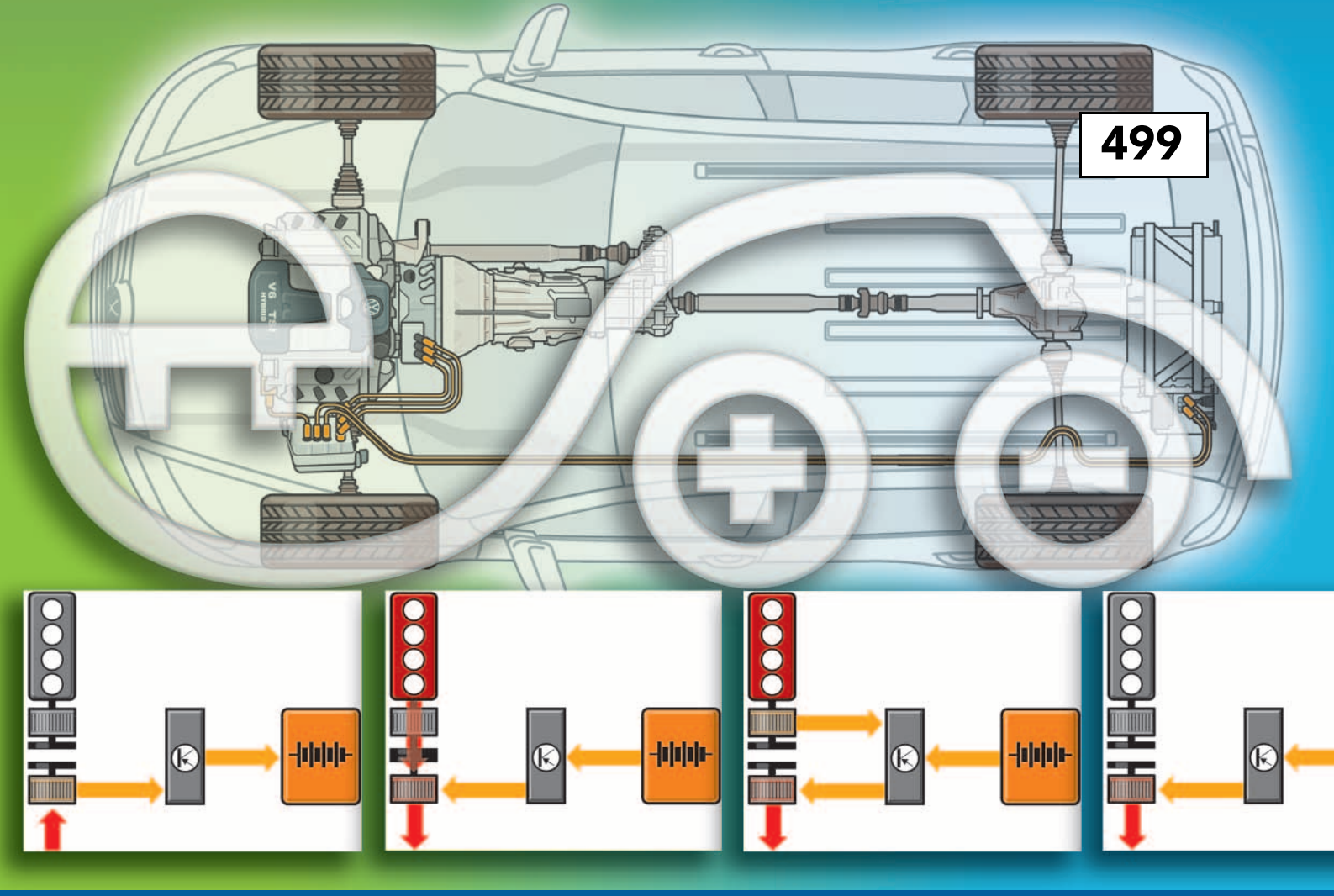
La marque « blue-e-motion » représente l'électromobilité dans le cadre du concept « Think Blue. ».
Les pierres angulaires de « Think Blue. » sont :
1. Des produits et solutions non polluants
2. Un comportement écoresponsable
3. Un engagement en faveur de l'environnement

Remorquage d'un véhicule électrique

Les roues motrices d'un véhicule électrique sont reliées au motogénérateur électrique par l'intermédiaire du différentiel et du réducteur. Cette liaison ne peut pas être interrompue aisément. Lorsque les roues motrices tournent, le motogénérateur électrique tourne également.
Si le système haute tension est activé et en ordre de marche, il interprète le remorquage comme une situation de récupération.
Le remorquage pourrait ainsi entraîner la recharge de la batterie.

Il est par conséquent fortement déconseillé de remorquer un véhicule électrique sur ses essieux.
Le remorquage ne doit être effectué que lorsque le véhicule électrique n'est plus en ordre de marche.
Si le système HT est désactivé, la rotation du motogénérateur électrique génère des températures susceptibles d'endommager ou de détruire des composants. De plus, le mouvement de rotation provoque dans le motogénérateur électrique une inductance qui s'oppose au mouvement du véhicule (un peu comme la dynamo d'un vélo).

Il est en revanche possible de pousser lentement le véhicule électrique pour l'éloigner d'une zone dangereuse.



© VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg
Tous droits et modifications techniques réservés.
000.2812.56.40 Dernière mise à jour 10/2011

Volkswagen AG
After Sales Qualifizierung
Service Training VSQ-1
Brieffach 1995
D-38436 Wolfsburg

❀ Ce papier a été fabriqué à partir de cellulose blanchie sans chlore.