

## VEHICULE ELECTRIQUE

▼ **DANS CETTE EDITION**

INTRODUCTION

**2**

CONTRAINTES D'UN  
VÉHICULE ÉLECTRIQUE

**2**

HOMOLOGATIONS ET  
RÈGLEMENTATION  
EUROPÉENNE

**4**

ARCHITECTURE  
GÉNÉRALE DU  
VÉHICULE ÉLECTRIQUE

**5**

COMPOSANTS  
PRINCIPAUX DU SYSTÈME  
DE TRACTION

**6**

SYSTÈME DE FREINAGE  
RÉGÉNÉRATIF

**15**

SYSTÈME DE  
CLIMATISATION

**17**

ENTRETIEN

**19**

## INTRODUCTION

Au fil du temps, le secteur de l'automobile a connu de nombreux progrès technologiques, mais l'introduction du véhicule électrique est sans aucun doute l'un des plus remarquables.

En 1839, Robert Anderson fabrique les premières générations de véhicule électrique. L'énergie électrique était alors stockée dans des piles non-rechargeables. Les batteries rechargeables sont inventées plus tard, en 1880, et la fabrication des véhicules électriques en série débute avant celle des véhicules à explosion.

En 1899, un véhicule électrique dénommé « La Jamais Contente » bat le record de vitesse en atteignant 105 km/h grâce aux batteries NiFe de Thomas Edison. En plein essor, les voitures électriques représentaient 90% des ventes.

Toutefois, vu leur autonomie et leur rendement relativement bas, leur fabrication cesse. De plus, les véhicules à combustion évoluaient plus rapidement grâce aux moteurs d'aviation principalement.

Actuellement, au vu des exigeantes normes antipollution et grâce au

développement des transistors IGBT et des batteries de capacités supérieures, de nombreux fabricants considèrent de plus en plus nécessaire l'investissement dans les véhicules électriques. L'objectif principal recherché est une utilisation plus efficace de l'énergie et par conséquent une réduction des émissions produites par les combustibles fossiles.

À court terme, l'infrastructure de chargement des batteries ne permet pas au véhicule électrique de remplacer le véhicule à combustion interne. De plus, de nombreux modèles sont limités à cause de l'autonomie de leur batterie et de la durée de son chargement. Sa mise en place complète est conditionnée par cette série de facteurs.

Toutefois, la majorité des véhicules électriques actuels parcourent moins de 60 km par jour, généralement en zone urbaine, des distances que la plupart de ces véhicules pourraient assumer sans problème.

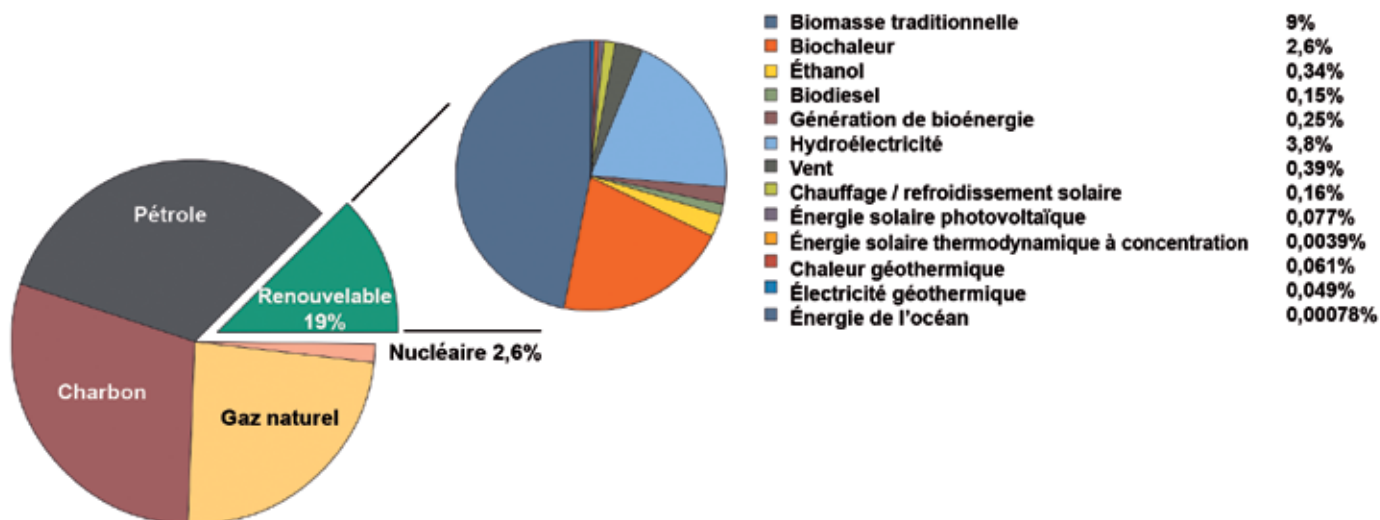
En outre, le développement de systèmes de chargement plus rapides (en courant continu) et les nouvelles générations de batterie d'ions de lithium prédisent un futur plus prospère aux véhicules électriques.

## CONTRAINTES D'UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE

### Approvisionnement énergétique

La société actuelle, quel que soit son niveau de bien-être, ne fonctionne ni ne survit sans un approvisionnement adéquat et régulier en énergie, de telle manière que tout le processus du cycle énergétique (obtention, traitement et approvisionnement) constitue un point significatif du système économique mondial.

Le graphique suivant, datant de 2013, classe la consommation d'énergie selon sa source au niveau mondial. De toutes les sources énergétiques connues, certaines sont plus polluantes et plus économiques que d'autres.



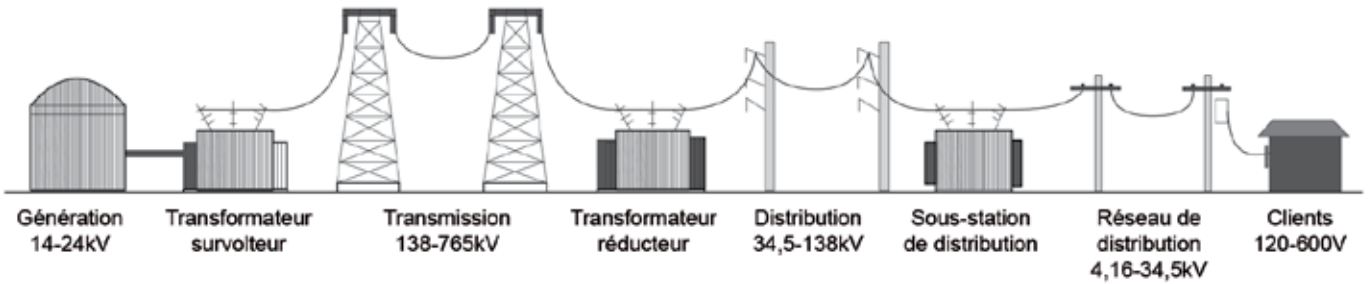
Pour que l'énergie électrique apporte des avantages sous l'angle de la durabilité, elle ne doit pas venir des centrales à fission nucléaire ou thermiques, mais d'énergies renouvelables et des futures centrales de fusion nucléaire.

Les prévisions de demande énergétique prédisent une croissance qui pourrait compromettre la durabilité du système énergétique actuel. C'est la raison pour laquelle des efforts sont déployés pour développer les éner-

gies renouvelables et améliorer l'efficacité de la distribution énergétique.

Pour que le véhicule électrique soit disponible à grande échelle, selon le pays, un changement profond du système énergétique actuel est nécessaire, de sa production au dernier échelon de la chaîne de distribution.

Le résultat est qu'une grande partie de l'énergie doit être consommée à l'endroit même où elle est générée.



## Efficacité énergétique

Si l'on analyse le rendement d'un véhicule à moteur à combustion du réservoir à la roue et celui d'un véhicule électrique actuel des batteries à la roue, on observe que le rendement d'un véhicule électrique est bien supé-

rieur à un véhicule à moteur à combustion (moteur diesel avec Start-Stop, Euro V, freinage régénératif et autres améliorations d'efficacité).



**83%**

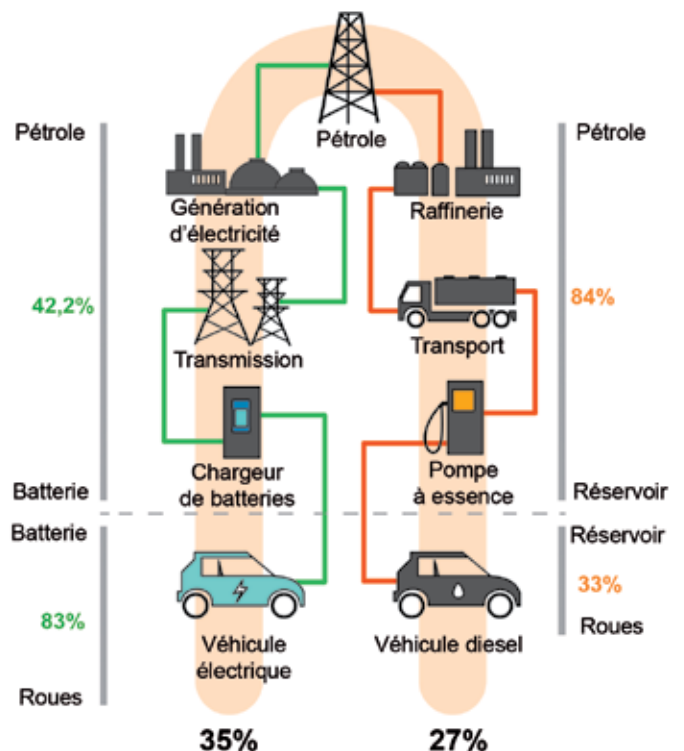


**33%**

Cependant, en partant de la comparaison de la production d'électricité à partir du pétrole, si l'on considère l'analyse du puits du pétrole à la roue, l'efficacité du véhicule électrique n'est pas aussi supérieure à celle d'un véhicule diesel.

Par conséquent, l'origine de l'énergie électrique ne devrait donc pas être les hydrocarbures.

De plus, dans la mesure du possible, elle devrait être obtenue sur le point même de consommation.





## Impact environnemental

L'avantage principal d'un véhicule électrique est qu'il n'émet aucun gaz polluant. Des études démontrent que l'introduction de 1000 véhicules électriques dans une ville permettrait d'éviter l'émission de 30 000 kg de gaz polluant par an et plus de deux tonnes de CO<sub>2</sub>.

Un autre grand avantage des véhicules électriques est qu'ils ne produisent pratiquement pas de bruit ; les moteurs électriques émettent

en effet très peu de décibels. Conduire un véhicule silencieux et sans vibrations produites par un moteur à combustion est un élément appréciable.

En contrepartie, cette absence de bruit représente un danger pour les piétons ou les cyclistes qui circulent en rue en se guidant par le bruit.

## HOMOLOGATIONS ET RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE

Un véhicule électrique qui circule sur route doit respecter une série de normes d'homologation, principalement en matière de sécurité et d'environnement où sont définies des conditions spécifiques.

En Europe, le **règlement 100 ECE** reprend les exigences spécifiques pour les véhicules électriques en ce qui concerne leur fabrication et leur sécurité fonctionnelle. La série 01 d'amendements de ce règlement est entrée en vigueur le 4 décembre 2010, et son exécution est devenue obligatoire deux ans plus tard.

**Règlement 100.00 ECE** : Il ne s'applique qu'aux véhicules électriques. Les hybrides ainsi que les véhicules de catégorie M et N dont les vitesses maximales dépassent 25 km/h en sont exclus. Ce règlement définit les exigences de construction (protection contre les contacts électriques, résistance d'isolation et charge), fonctionnelles et d'émissions d'hydrogène.

**Règlement 100.01 ECE** : Il s'agit de l'évolution du précédent. Ce règlement inclut les véhicules hybrides dans son champ d'application. De plus, d'autres points du règlement sont ajoutés ou modifiés, comme la redéfinition de la haute tension qui est alors comprise entre 60V et 1500V en courant continu et entre 30V et 1000V en courant alterné. Du point de vue de la sécurité, des exigences sont établies pour les connecteurs ; l'isolation des câbles à haute tension doit être marquée en orange et, entre autres, les procédures de mesure sont modifiées en séparant les circuits de DC et AC.

Suivent ensuite d'autres points généraux qui touchent de manière spécifique les véhicules électriques :

- **R10** : La **compatibilité électromagnétique** des véhicules est définie sur des tests d'émissions d'ondes électromagnétiques et d'immunité à celles-ci.
- **R13 et R13H** : Il se réfère au **freinage de véhicules de tourisme et commerciaux** et tient également compte du système de frein régénératif des véhicules électriques.
- **R79** : En ce qui concerne les **systèmes de direction**, il définit les caractéristiques de construction, les efforts maximaux sur ces mécanismes et autres règlements sur des systèmes électroniques de

contrôle du véhicule.

- **R85** : Il définit la **puissance des moteurs**. En annexe est reprise la définition de la puissance des moteurs électriques de traction sur un essai à puissance nette et un autre à puissance maximale de 30 minutes.
- **R94 et R95** : Ils font référence à la protection des occupants du véhicule en cas de choc frontal et latéral.
- **R101** : Il reprend les **émissions de CO<sub>2</sub> et la consommation de combustible** dans les moteurs à combustion ou hybrides, ainsi que la consommation et l'autonomie des véhicules électriques.

**La directive 2000/53** détermine la fin de durée de vie utile d'un véhicule et **la directive 2005/64** définit l'homologation d'un véhicule au regard de sa possibilité de réutilisation, de recyclage ainsi que de sa valeur. Pour un véhicule électrique ces normes sont importantes car il doit être conçu et fabriqué en tenant compte de l'impact environnemental des batteries, tant leur fabrication que leur utilisation et leur recyclage.

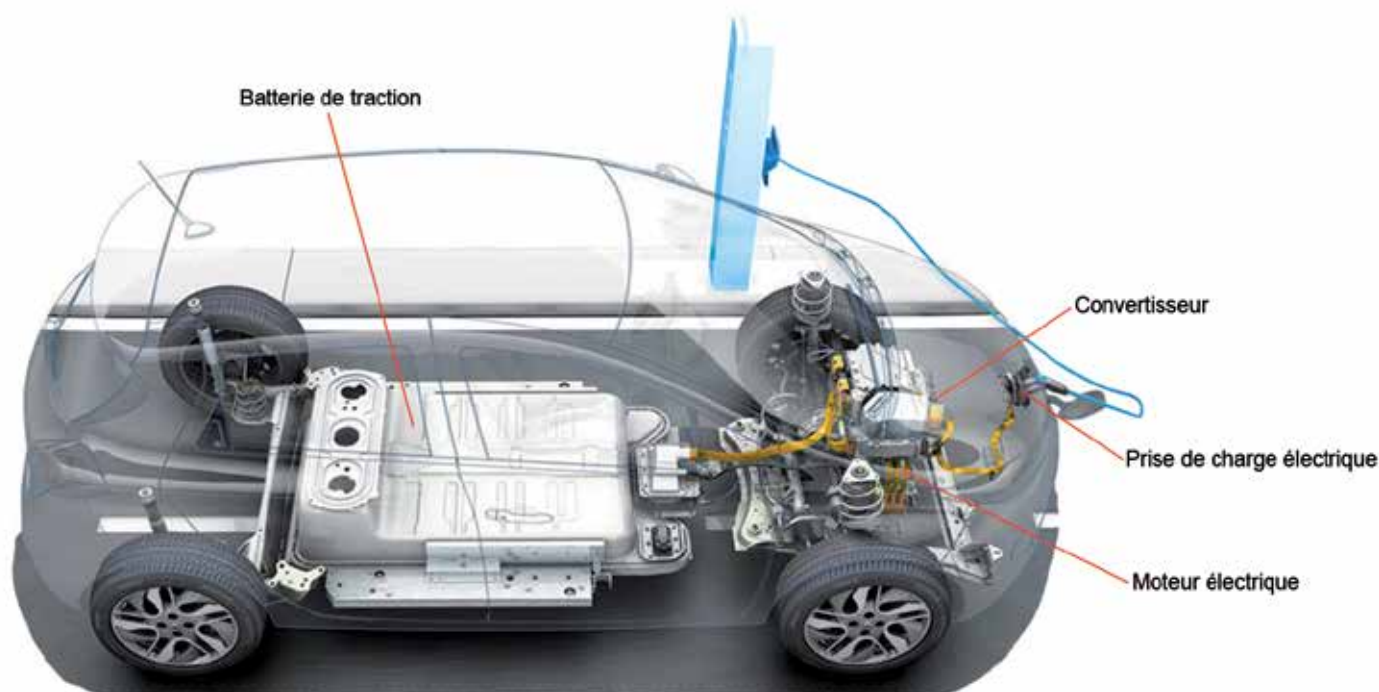
Hors de l'Europe, il existe également d'autres réglementations spécifiques pour les véhicules électriques comme celle des États-Unis « Federal Motor Vehicle Safety Standards » et celle du Japon « Attachment 110 & 111 ». Ces deux puissances mondiales sont pionnières dans la conception et la fabrication de ces véhicules.

Au niveau Européen, chaque fabricant forme ses ouvriers pour la réalisation de travaux de haute tension sur le véhicule électrique. Les réglementations européennes qui contrôlent les travaux de haute tension sont les **EN 50110-1 et EN 50110-2**. Elles reprennent certains points comme la **directive 89/391/CEE**, faisant référence à l'application de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et la santé des travailleurs.

# ARCHITECTURE GÉNÉRALE DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE

Généralement, la plupart des véhicules électriques emploient des composants très semblables pour leur fonctionnement. Voici les compo-

sants électriques les plus importants de la Renault ZOE.



## Type de réseaux

En règle générale, un véhicule électrique est composé d'un réseau de 12 volts, d'un groupe de réseaux multiplexés pour la communication entre les différentes unités de commande et un réseau de haute tension compris entre 150 et 400 volts.

**Réseau de 12 volts :** Ce réseau remplit la même fonction que dans un véhicule traditionnel. Il est utilisé dans tous les systèmes de sécurité (actif et passif), le chargement de la batterie de 12 V, l'illumination, le confort, l'alimentation des unités électroniques, ...

**Réseaux multiplexés :** Tous les systèmes d'un véhicule électrique, y compris celui de gestion de haute tension, sont contrôlés par des unités de commande qui doivent communiquer entre elles. Tout

comme dans un véhicule traditionnel, la communication entre les unités se fait à travers un système multiplexé.

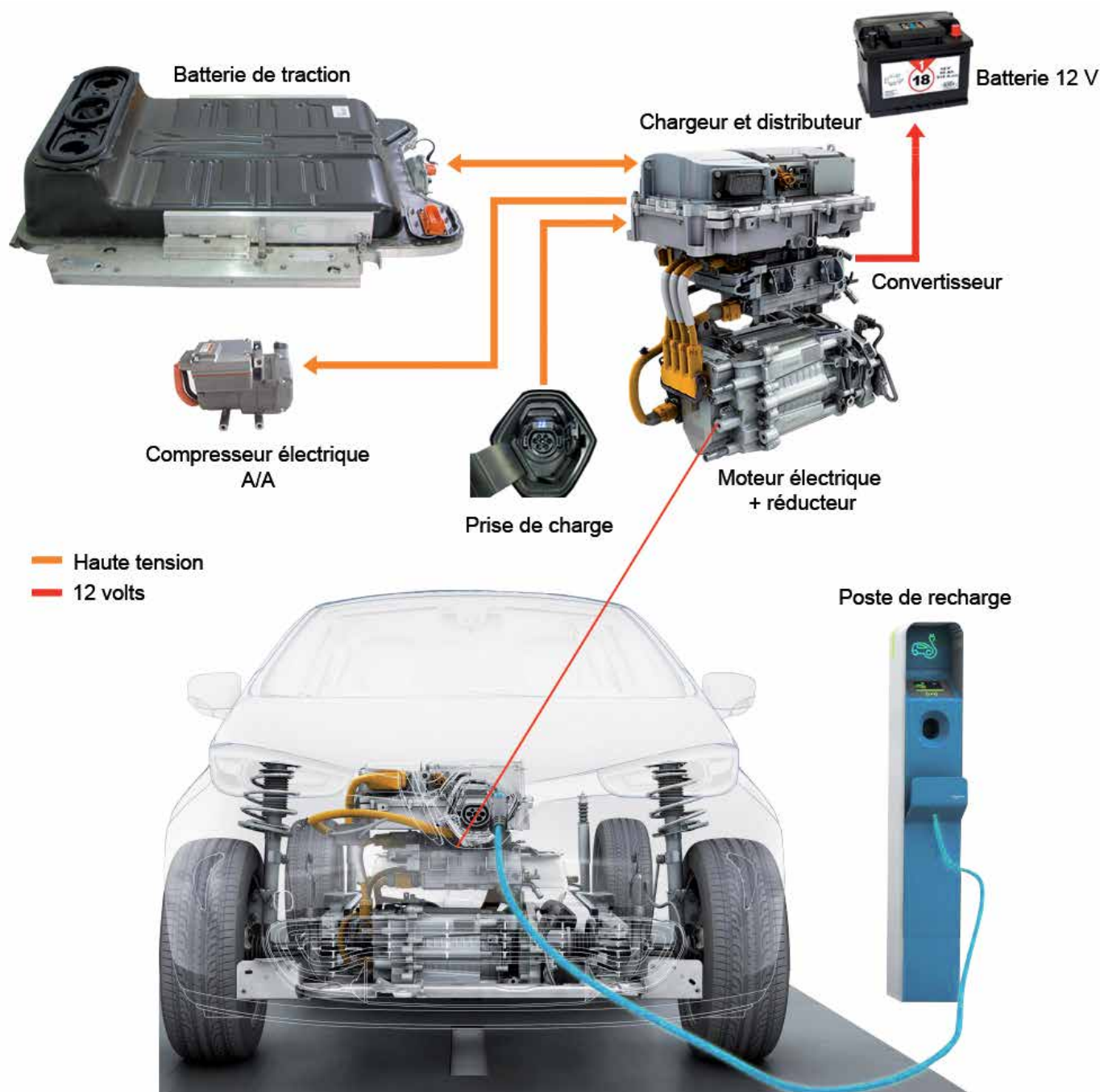
**Réseau de haute tension :** Un groupe de composants spécifiques est nécessaire pour la gestion d'une traction électrique. Il s'agit normalement de : une prise électrique, une batterie de traction, un moteur électrique, un convertisseur et un système de frein combinant le frein électrique régénératif et le frein mécanique. Il incorpore également un système de climatisation aussi bien pour la batterie de traction que pour l'habitacle. Le reste de composants du véhicule sont semblables à un véhicule conventionnel.

## Fonctionnement général du système de traction électrique

Ces véhicules s'approvisionnent de courant électrique provenant du réseau domestique, d'une station de recharge rapide urbaine et du freinage régénératif.

L'énergie utilisée par le système de traction électrique est stockée dans une batterie de grande capacité dénommée batterie de traction. À travers le distributeur, la batterie fournit un courant continu au

convertisseur, où ce courant est transformé en courant alternatif. Le courant alternatif alimente le moteur électrique pour qu'il produise un mouvement de rotation. Le mouvement de rotation est transformé dans un groupe réducteur pour obtenir un entraînement correct des roues de traction.



## COMPOSANTS PRINCIPAUX DU SYSTÈME DE TRACTION

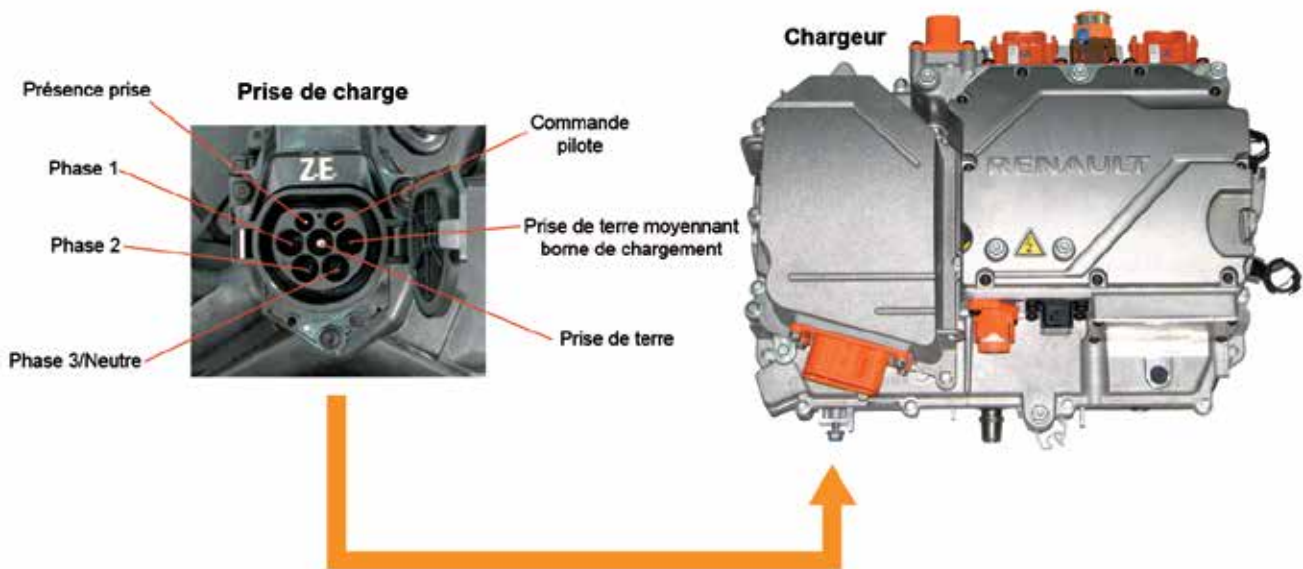
### Prise de charge électrique et chargeur

Lors de l'acquisition d'un véhicule électrique, il est nécessaire de disposer d'un poste de recharge où brancher le véhicule et recharger la batterie. La connexion vers le véhicule se fait à travers la prise où elle peut recevoir différentes alimentations selon que la charge soit monophasée ou triphasée.

Le courant domestique est alterné. À cause de sa nature, il ne peut pas être stocké dans une batterie. Le courant stocké et fourni par une batterie, quel que soit son type, est continu. Un transformateur est donc né-

cessaire pour adapter le courant domestique alterné au courant continu de la batterie.

Pour un plus grand confort et pouvoir connecter directement à 220V, la plupart des fabricants choisissent de mettre un chargeur dans le véhicule même. Ce chargeur contrôle les processus de chargement et de transformer le courant alterné en courant continu qui est nécessaire pour le fonctionnement de la batterie de traction. De plus, une communication s'établit entre ce chargeur et le poste de recharge.



La perte d'espace et l'augmentation du poids du véhicule sont les inconvénients de ces chargeurs.

## Types de recharge

Chaque batterie requiert une recharge spécifique. Il existe donc une grande variété de chargeurs sur le marché et il convient de consulter le fabricant pour connaître le plus approprié.

Plus on dispose de puissance électrique, plus le temps employé pour recharger la batterie sera inférieur. Il existe trois types de recharge en fonction de la puissance et du type de courant électrique disponible :

- **Recharge traditionnelle** : Elle emploie l'intensité et le voltage électriques traditionnels d'une habitation avec courant monophasé (selon la puissance souscrite : 3,7-11 kW, 230 volts).

- **Recharge semi-rapide** : Ce type de recharge s'emploie dans les postes de recharge urbains et les garages qui utilisent généralement un courant alternatif triphasé. Elles offrent des puissances relativement supérieures à celles d'usage domestique ce qui réduit considérablement le temps de recharge (1 heure).
- **Recharge rapide** : Les chargeurs rapides fonctionnent avec des courants de 125 ampères et des tensions de 500 volts, et fournissent une puissance de sortie de l'ordre de 60 kW. Cette recharge doit être conçue comme extension d'autonomie ou charge de convenance. Si l'on compare le temps de recharge de la batterie avec les autres types de recharge, celui-ci est nettement inférieur.

## Protocoles de chargement et connecteurs

Les fabricants de véhicules électriques ont établi leurs propres protocoles de communication qui font partie des procédés de chargement de la batterie. Ces protocoles informent de l'état de la batterie, du niveau de charge, de la protection pendant le chargement et du processus même de chargement. Vu l'incompatibilité entre les différents

protocoles et connecteurs, aussi bien dans la communication que dans la construction du connecteur, les fabricants ont essayé de standardiser leurs systèmes de chargement, ce qu'ils ont réussi non sans difficultés. Selon les différents marchés, différents protocoles de chargement standardisés peuvent être trouvés :

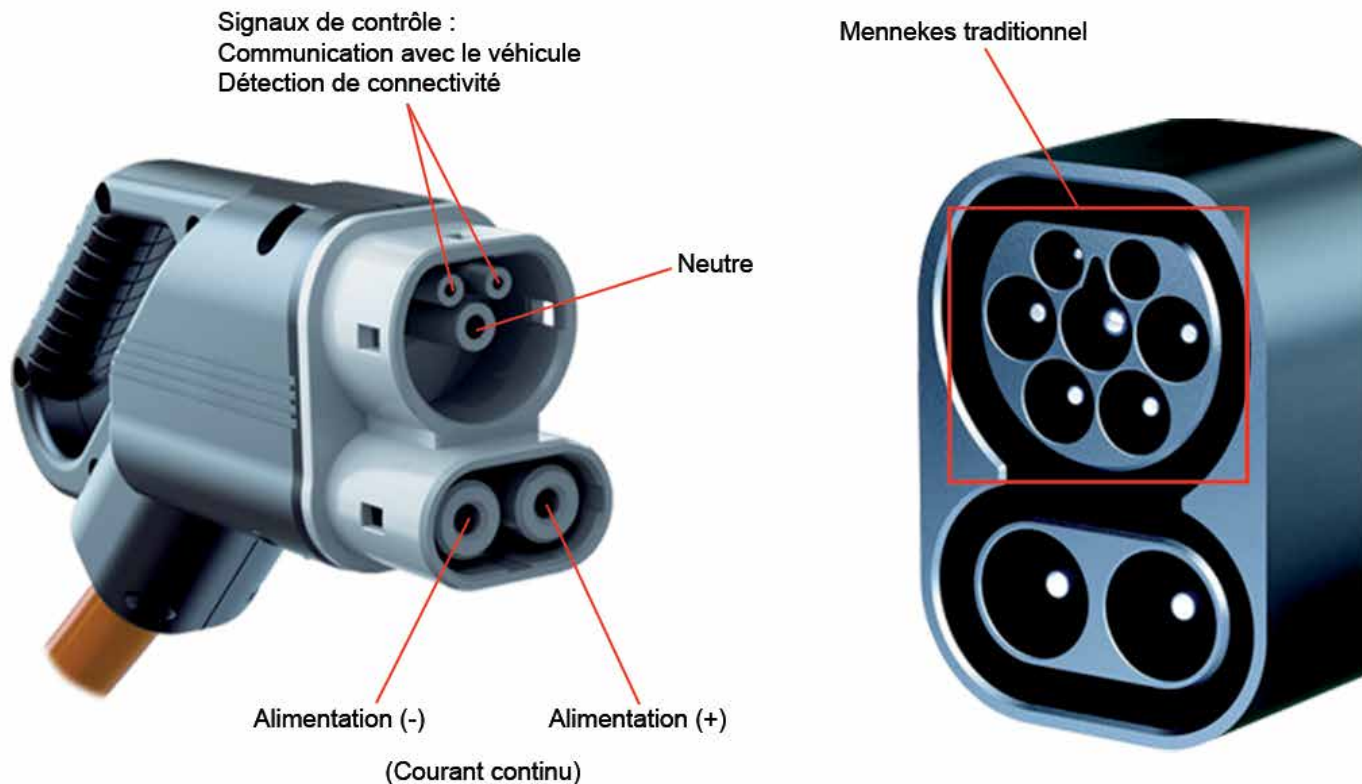
- **Connecteur Mennekes** : Il s'agit du connecteur standardisé en Europe. Il se base sur le standard international IEC 62196 (Commission électrotechnique internationale).



Courant alternatif	Monophasé et triphasé allant jusqu'à 16-63 A
Tension	100-500 V
Puissance	Jusqu'à 43,8 kW
Protocole de communication	PLC (Power Line Comun.)



La variante combinée de Mennekes permet de charger avec un courant continu. Elle s'appelle **Mennekes CCS Combined Charging System** et compte deux fiches de plus pour + et – CC. Ceci permet un chargement plus rapide avec des puissances allant jusqu'à 100 kW.



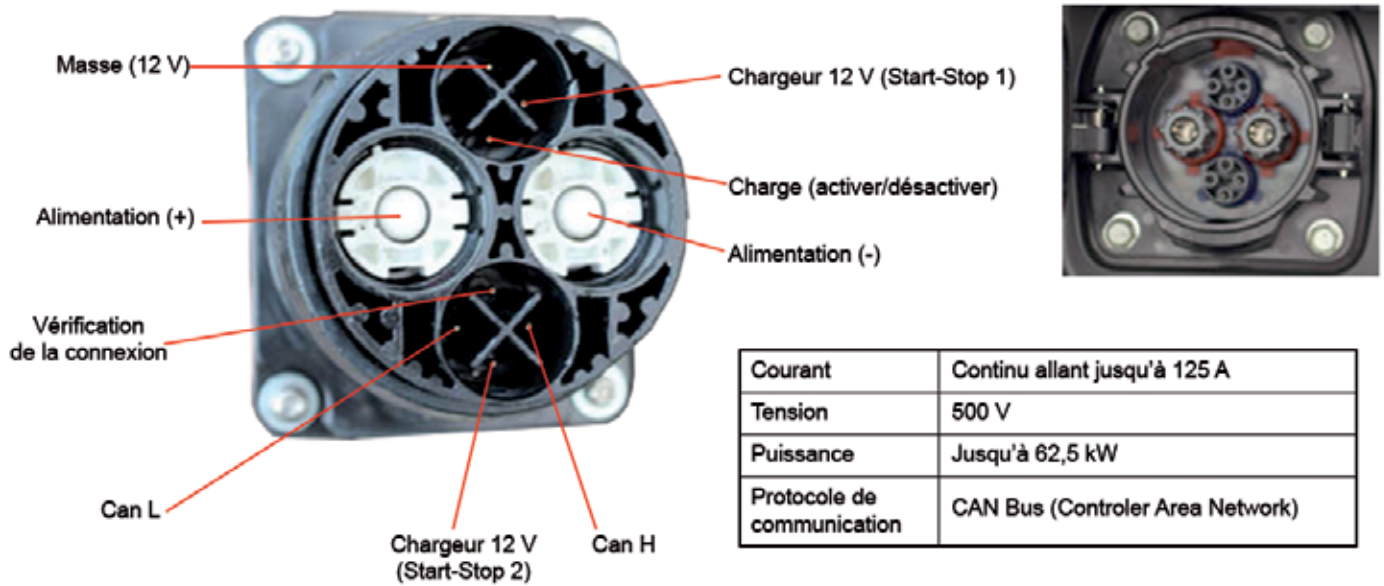
- **SAE J1772 ou Yazaki** : Il est développé aux États-Unis. Uniquement pour le standard américain.



La variante combinée de SAE J1772 permet de charger avec un courant continu. Elle s'appelle **SAE CCS Combo Coupler System** et compte deux fiches de plus pour + et – CC. Ceci permet un chargement plus rapide avec des puissances allant jusqu'à 90 kW.



- **Connecteur CHAdeMO** : CHArge de MOve (chargement pour se déplacer) du Japonais « prenons un café ». Il s'agit du standard japonais de charge rapide. Il est conçu exclusivement pour le courant continu et le verrou de fixation est manuel.



Vu la grande variété de connecteurs, certains fabricants choisissent d'équiper leurs véhicules avec plus d'un type de connecteur (un pour la recharge traditionnelle au domicile et un autre pour la recharge rapide).



## Batterie de traction

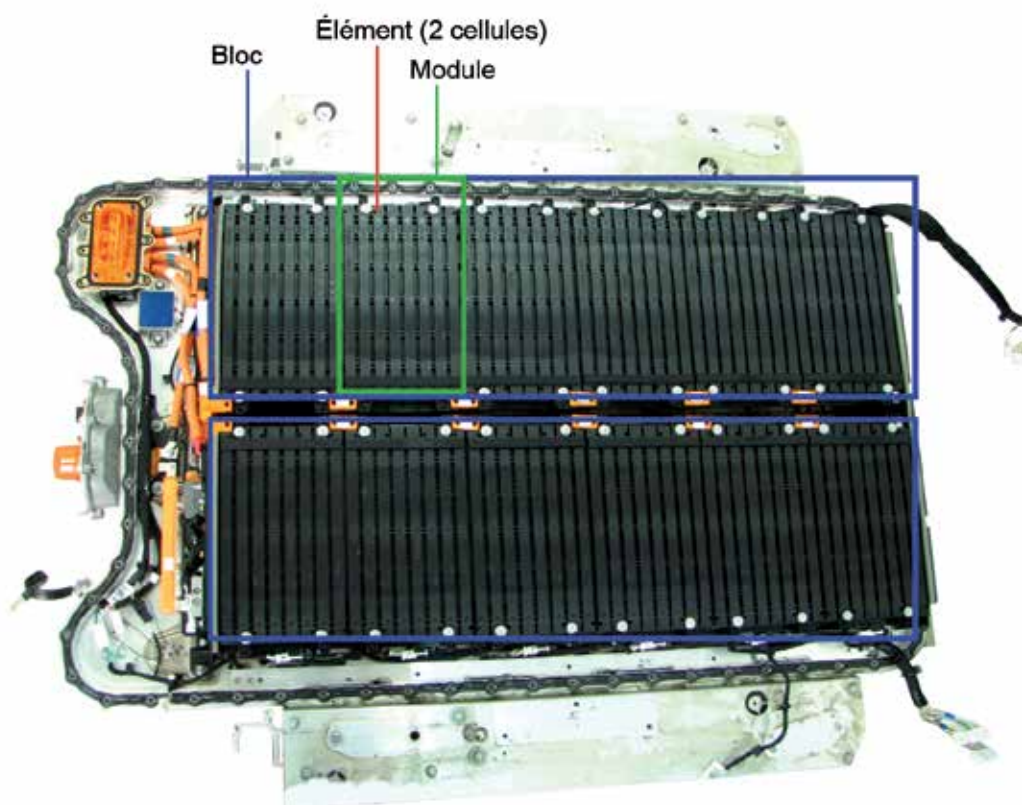
Cet élément stocke l'énergie sous forme chimique qui, en se connectant à un circuit électrique, se transforme en énergie électrique et effectue un travail. Elle est généralement située sous le plancher du véhicule. Elle aide de cette manière à équilibrer le poids entre la partie avant et la partie arrière du véhicule et à maintenir un centre de masse bas. Ceci facilite une traction optimale et confère au véhicule une excellente stabilité.

Il en existe de plusieurs types, la principale différence entre les batteries ainsi que la puissance et le voltage qu'elles délivrent réside principalement dans le matériel de fabrication des électrodes positive et négative. Les batteries les plus connues sont :

Type de batterie	Plomb-acide	Nickel-cadmium	Nickel-hydrure métallique	Sodium-nickel (Zèbre)	Lithium-ion
<b>Matériel de l'électrode négatif</b>	Plomb	Cadmium	Hydrures métalliques	Sodium	Graphites, nitrures et alliage de lithium
<b>Matériel de l'électrode positif</b>	Oxyde de plomb	Hydroxyde de nickel	Hydroxyde de nickel	Nickel	Lithium oxyde de cobalt, oxyde de vanadium...
<b>Électrolyte</b>	Acide sulfurique	Hydroxyde de potassium	Hydroxyde de potassium	Sodium-nickel-chlore	Solvant organique + sel de lithium
<b>Énergie/poids (Wh/kg)</b>	30 - 50	48 - 80	60 - 120	120	110 - 160
<b>Tension par élément (V)</b>	2	1.25	1.25	2.6	3.70
<b>Durée (cycles de chargement-déchargement)</b>	1000	500	1000	1000-2000	4000
<b>Temps de chargement (h)</b>	8 - 16	10 - 14	2 - 4	-	2 - 4
<b>Autodéchargement par mois (% du total)</b>	5	30	20	-	25
<b>Efficacité de chargement</b>	82.5	72.5	70	92.5	90

Les batteries d'ion-lithium sont les plus récentes. L'utilisation de nouveaux matériaux comme le lithium a permis d'obtenir des densités énergétiques élevées, une efficacité élevée, l'élimination de l'effet mémoire, une absence de maintenance et des facilités de recyclage. Une batterie de ces caractéristiques est formée par un grand nombre de cellules qui sont regroupées en modules et réparties en blocs.

L'image suivante montre un exemple de batterie de traction de 192 cellules réparties en 96 éléments et connectés en série. Plus concrètement, cette batterie offre un voltage nominal de 360 V pouvant travailler à une tension maximale de 400 volts. Sa capacité énergétique tourne autour de 22 kWh et elle offre 150 km d'autonomie entre recharges.



**Note:** Certains véhicules plus sophistiqués comme la Tesla Model S intègrent plus de 8000 cellules dans leur batterie. La capacité offerte est de 100 kWh et une autonomie de plus de 500 km entre recharges.

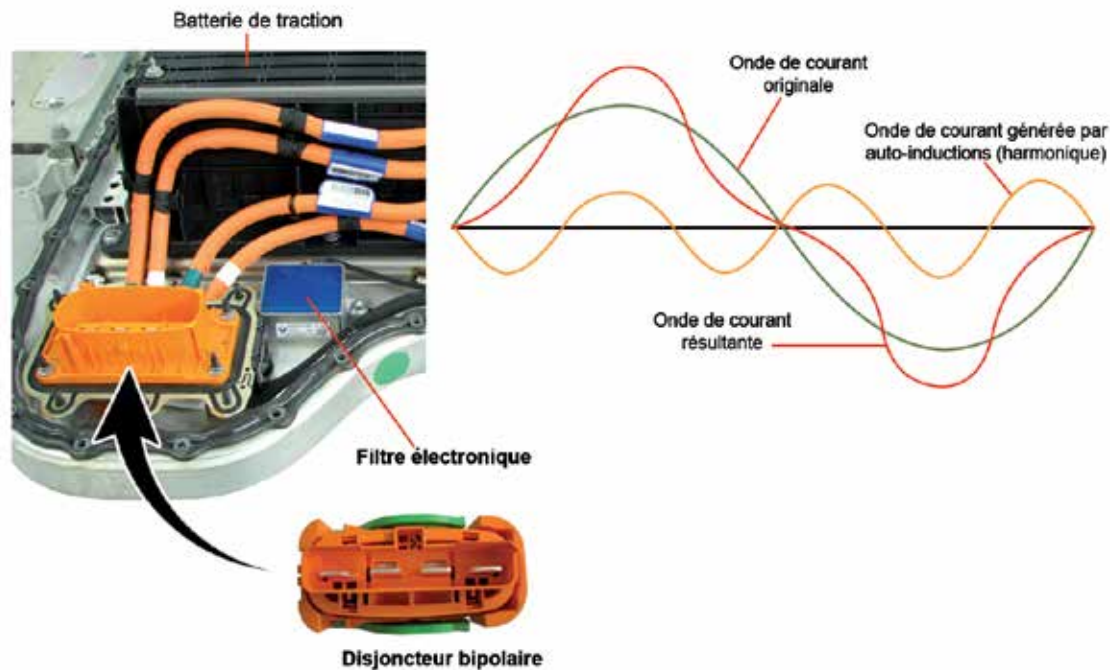
Afin d'améliorer l'efficacité énergétique, ces batteries sont pourvues d'un système de refroidissement autonome qui maintient les cellules à une température de travail optimal. Dans ce cas, le liquide réfrigérant de l'air conditionné est utilisé moyennant un évaporateur et une turbine pour refroidir un courant d'air qui traverse tous les modules de la batterie.

Dans ces batteries de traction, les voltages de charge et de décharge par cellule doivent être compris dans des limites établies par le fabricant. C'est dans ce but qu'est intégrée une gestion électronique qui contrôle et équilibre les cycles de charge/décharge et leur correct fonc-

tionnement. Cette gestion requiert des éléments comme des capteurs de température, des capteurs de courant, des fusibles, des résistances, etc.

Par sécurité, ces batteries incorporent un disjoncteur bipolaire qui permet la déconnexion des pôles négatif et positif de la batterie de traction du reste de l'installation du véhicule. Ce système de sécurité évite la présence de courants dangereux dans le reste du câblage et dans les composants de haute tension.

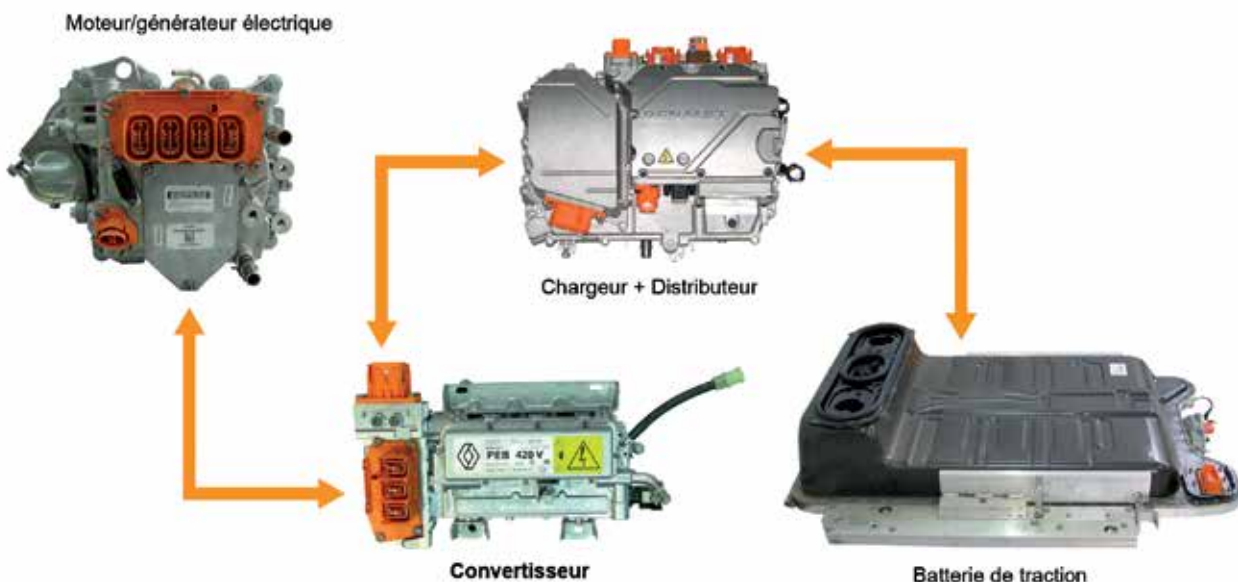
Il est également nécessaire d'intégrer un filtre électronique connecté à la borne négative pour garantir une longue durabilité et un bon fonctionnement de la batterie de traction. Ce filtre absorbe les harmoniques que contient le courant qui y entre et en sort.



## Convertisseur

Il est chargé de transformer le courant continu de la batterie de traction en courant triphasé alterné pour que le moteur de haut rendement puisse fonctionner. De plus, lors des décélérations, il trans-

forme l'énergie électrique produite par le moteur en courant continu pour le stocker à nouveau dans la batterie.





La communication entre le convertisseur et le moteur électrique a lieu par un câble spécifique. Tous les câbles de haute tension sont blindés afin d'éviter au maximum les parasites.

Le convertisseur, quant à lui, gère l'allumage des phases du stator en fonction de la position du rotor, la demande de puissance, le frein

régénératif et si le véhicule doit circuler vers l'avant ou l'arrière. De plus, il réduit la haute tension de la batterie de traction à basse tension pour approvisionner les consommateurs du réseau de 12 volts, en chargeant aussi une petite batterie de 12 volts.

**Important:** Dans ces véhicules électriques, ne pas utiliser le système de 12 volts pour démarrer un autre véhicule traditionnel. La puissance électrique que fournit le système de basse tension n'est pas conçue pour supporter la demande de consommation électrique que le moteur de démarrage d'un véhicule à combustion requiert.

Afin d'empêcher la surchauffe des composants du système motopropulseur (convertisseur, chargeur, moteur électrique, groupe réducteur...), un système de refroidissement par eau est installé. Dans ce système de refroidissement, la température de refroidissement est aux alentours de 50°C, où avec un capteur de température l'utilisation d'un thermostat est évité.

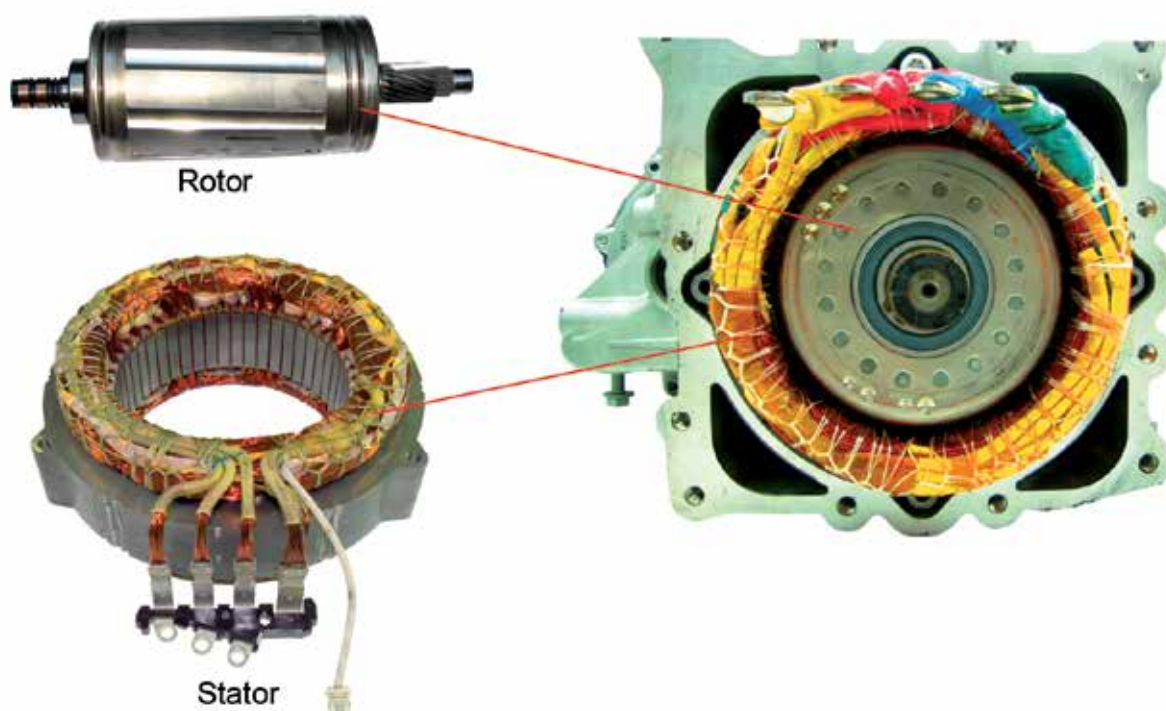
## Moteur de traction électrique + groupe réducteur

Le moteur de traction est un composant important dans l'architecture du véhicule électrique. Il est chargé de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique appliquée aux roues.

Le principe de fonctionnement d'un moteur électrique consiste à induire un champ magnétique généré dans un stator où il interagit avec le champ magnétique généré dans le rotor. L'interaction ou « choc » entre les deux champs provoque la rotation de l'axe du moteur électrique. Ces moteurs ont également la capacité de fonctionner comme

un générateur lors des décélérations du véhicule, en proportionnant un courant alternatif qui est ensuite rectifié en courant continu (dans le convertisseur) pour être stocké dans la batterie.

Les principaux composants de ces dispositifs sont : le stator qui reste immobile, où se trouvent les bobines inductrices qui forment les roulements en cuivre montrés sur l'image. Et le rotor qui est le noyau magnétique produisant le mouvement transmis au groupe réducteur.



### Types de moteur

Les moteurs électriques peuvent être classés en deux catégories : les moteurs synchrones et les moteurs asynchrones. Leur différence réside dans leur fonctionnement.

Dans les moteurs synchrones, la vitesse de rotation du rotor est identique à celle de rotation du champ magnétique du stator. Tandis que

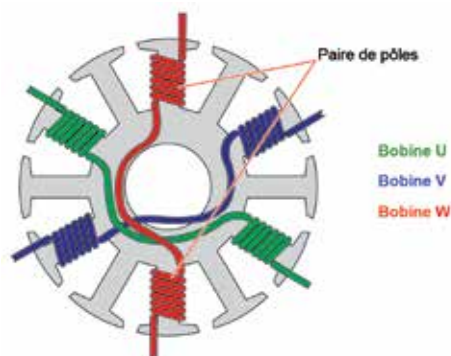
dans les moteurs asynchrones ou moteurs à induction, la vitesse de rotation du rotor est toujours inférieure à celle de rotation du champ magnétique du stator.

La Renault ZOE et la Nissan Leaf sont équipées de moteurs synchrones et Tesla utilise des moteurs asynchrones.

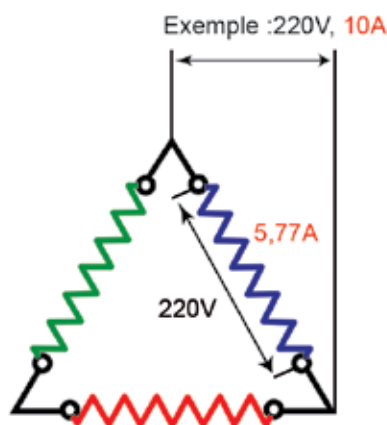
## Le stator

Ce composant est pratiquement identique dans les moteurs synchrone et asynchrone. Le plus souvent, le stator est triphasé et est formé par trois bobines distribuées de manière uniforme autour de sa carcasse. Le nom de ces deux bobinages est généralement U, V et W.

Selon la distribution des bobinages autour de la carcasse, on obtient un nombre de pôles magnétiques supérieur ou inférieur.

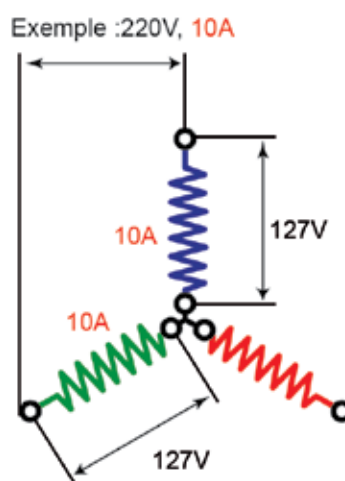


### -Connexion en triangle-



$$I_{\text{phase}} = \frac{I_{\text{ligne}}}{\sqrt{3}} \quad V_{\text{phase}} = V_{\text{ligne}}$$

### -Connexion en étoile-



$$V_{\text{phase}} = \frac{V_{\text{ligne}}}{\sqrt{3}} \quad I_{\text{phase}} = I_{\text{ligne}}$$

La connexion de ces bobines peut être en étoile (tous les bornes des bobines sont connectés en même point) ou en triangle (la fin de chaque phase est connectée en série avec le début de la suivante et le système est alimenté par les points d'union). L'image suivante illustre ces deux types de connexion qui, alimentés à 220 V et à 10 A, ont des intensités et voltages différents sur leurs lignes.

La puissance de rotation d'un moteur connecté en étoile ou en triangle est la même. Cependant, lorsque les phases sont connectées en

triangle, l'intensité et le couple moteur sont inférieurs à un moteur connecté en étoile. Par contre, sa vitesse de rotation et sa tension sont supérieures. Lorsque les phases sont connectées en étoile, la vitesse et la tension sont inférieures si on les compare avec une configuration en triangle. Par contre, l'intensité et le couple moteur sont supérieurs. C'est la raison pour laquelle les moteurs employés dans les véhicules électriques sont généralement connectés en étoile pour obtenir le couple moteur maximal.

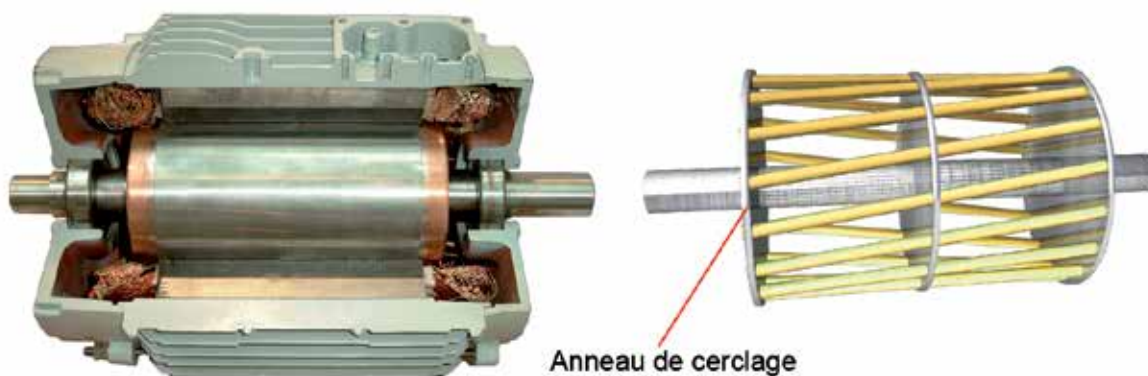
## Le rotor

Selon si le moteur est synchrone ou asynchrone, il peut être équipé d'un rotor ou d'un autre. Les moteurs asynchrones sont équipés d'un

- **Le rotor à cage d'écureuil** : est composé de conducteurs distribués à la périphérie du rotor (normalement en cuivre). Les extrémités de ces conducteurs sont court-circuitées à travers un anneau de cerclage, sans que le bobinage du rotor ne puisse être

rotor à cage d'écureuil. Tandis que les moteurs synchrones emploient normalement un rotor à aimants permanents.

connecté avec l'extérieur. Le champ magnétique du stator induit un courant dans le rotor qui sera postérieurement transformé en champ magnétique nécessaire pour que l'axe commence à pivoter.



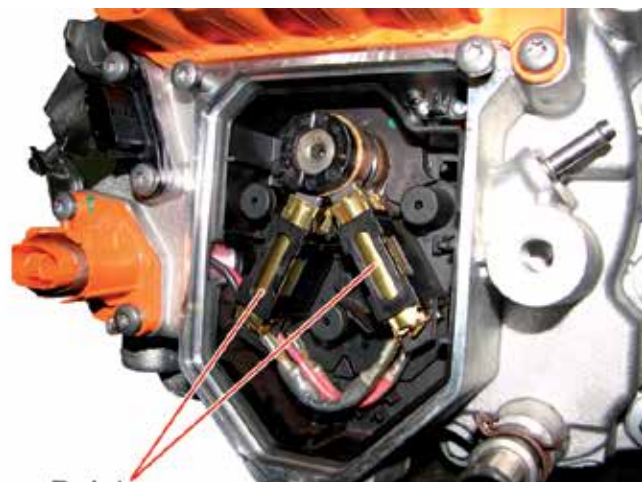
Anneau de cerclage

- **Le rotor bobiné** : se caractérise par le bobinage en cuivre enroulé qu'il incorpore et qui se connecte avec l'extérieur par deux bagues collectrices installées sur le même axe. Ces bagues sont ali-

mentées en permanence par des balais pour alimenter le bobinage de rotor dont la fonction est d'y produire un champ magnétique.



Bagues collectrices



Balais

- **Le rotor d'aimants permanents** a la propriété de ne pas devoir « créer » un champ magnétique en absorbant le courant d'une source d'alimentation, car les aimants eux-mêmes génèrent déjà ce

champ magnétique. Le néodyme est un matériel qui s'emploie souvent pour ce type d'aimants.

## Groupe réducteur

Vu le nombre élevé de révolutions auxquelles peut tourner le moteur électrique (12 000 tr/min) et le couple élevé disponible, les véhicules électriques n'ont besoin d'aucune boîte de vitesses. De plus, vu qu'avec le moteur électrique, l'arrivée de puissance a lieu dès l'instant 0 (le ralenti n'est pas nécessaire), il permet également de supprimer

tout système d'embrayage.

Cependant, le véhicule doit être équipé d'un système de réduction (groupe réducteur) pour transformer le nombre élevé de tours du moteur électrique en couple d'adhérence.

Le réducteur est formé par l'axe du moteur électrique (rotor), un pignon réducteur et un différentiel traditionnel.

Rotor du moteur électrique



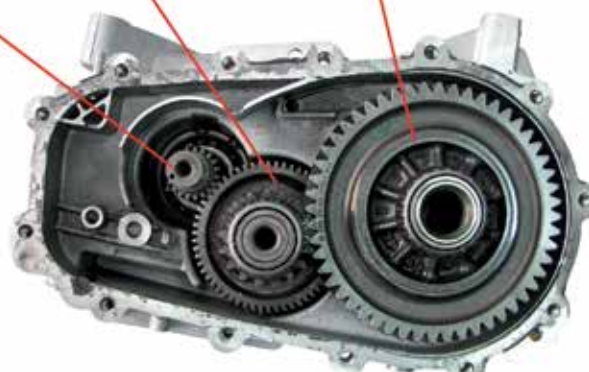
Pignon réducteur



Différentiel



Couvercle du groupe réducteur



Pour la fonction de marche-arrière, l'accouplement d'un troisième pignon n'est pas nécessaire, il suffit d'inverser la rotation du moteur électrique.



## SYSTÈME DE FREINAGE RÉGÉNÉRATIF

Il est habituel de trouver deux systèmes de freinage différents sur un même véhicule électrique, mais pour le conducteur, le système de freinage doit se comporter comme s'il n'y avait qu'une seule force de freinage. L'équipement de freinage se compose du système classique hydraulique et du système de freinage régénératif où intervient le moteur électrique de traction (lorsqu'il se comporte comme un générateur de courant).

Le système de freinage traditionnel (hydraulique) est généralement équipé d'un amplificateur de freinage qui fonctionne par système de dépression. Dans un véhicule traditionnel, la dépression provient du collecteur d'admission (moteur à essence) ou du dépresseur de frein (moteur diesel). Dans le cas d'un véhicule électrique, cette dépression peut généralement s'obtenir de deux manières :

- À l'aide d'une pompe à vide électrique, qui est activée par le signal d'un capteur de dépression installé sur le propre amplificateur de freinage.
- Le propre moteur électrique employé pour le système ABS génère la pression hydraulique qui s'utilisera dans le circuit hydraulique.

Dans ce type de véhicules, le freinage régénératif s'active lorsque la pédale de l'accélérateur est relâchée. À cet instant, le moteur électrique cesse de fournir de la traction aux roues pour inverser sa fonction et devient générateur. L'inertie du rotor produit une induction électromagnétique dans les bobines du stator en générant donc un courant alterné. Ce courant alterné est rectifié en courant continu par le convertisseur pour ensuite être stocké dans la batterie de traction. À mesure que l'on appuie sur la pédale de frein et que la pression augmente sur celle-ci, la batterie effectue une plus grande absorption d'énergie sur le générateur et provoque davantage de retenue.

L'autonomie du véhicule électrique augmente considérablement grâce au frein régénératif, surtout en circulant en ville. De même, l'usure de ses freins se réduit.

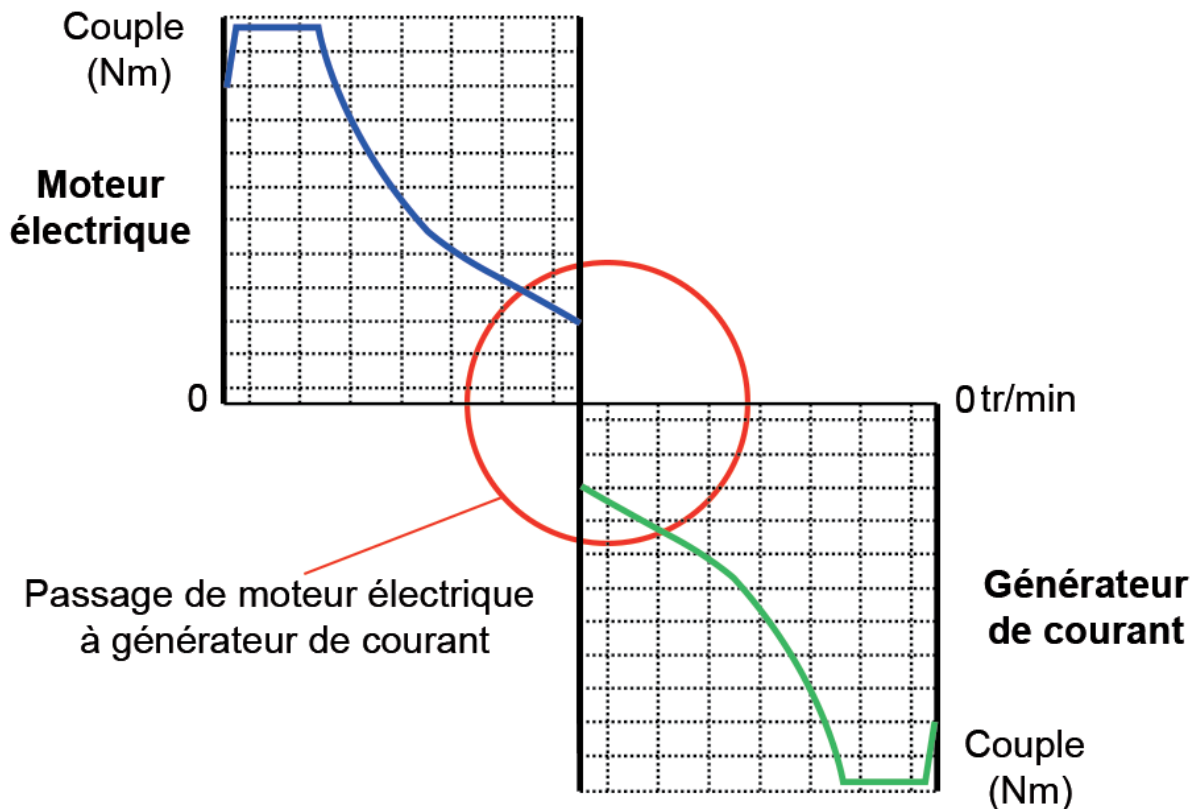
Pour que le freinage d'un véhicule électrique soit effectif et qu'il puisse, à la fois, bénéficier au maximum du frein régénératif pour la recharge de la batterie de traction, il est nécessaire d'avoir un système de freins qui combine continuellement les deux systèmes de freinage.



Le couple résistant d'un générateur dépend, en partie, du nombre de tours auquel il tourne. Lors du passage de moteur électrique à générateur de courant, il existe un bref laps de temps pendant lequel on ne dispose d'aucun type de couple, le freinage doit alors être 100% hydraulique. Dès que l'on dispose d'un couple résistant, le système

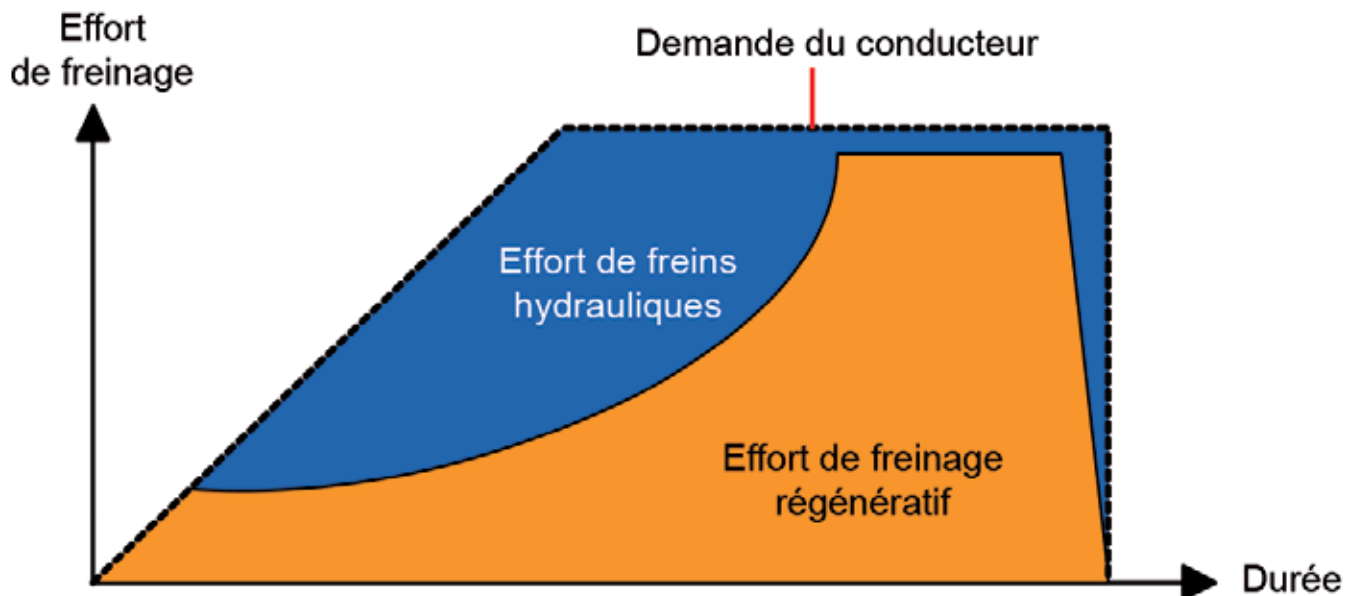
de freins doit être capable de réduire ou même d'annuler le freinage hydraulique afin de pouvoir profiter du freinage régénératif. Lors de la diminution de la vitesse de rotation du générateur, le véhicule cesse d'avoir un couple résistant. Le freinage hydraulique doit alors à nouveau être appliqué.

**-Courbe couple moteur / générateur-**



Ainsi donc, le système de freins d'un véhicule électrique interrompt la pression générée par le conducteur dans la pompe de freins pour pou-

voir combiner le freinage hydraulique et le freinage régénératif selon les besoins du freinage.



## SYSTÈME DE CLIMATISATION

Vu qu'ils ne disposaient pas d'un moteur à combustion interne, les fabricants de véhicules électriques ont envisagé deux questions :

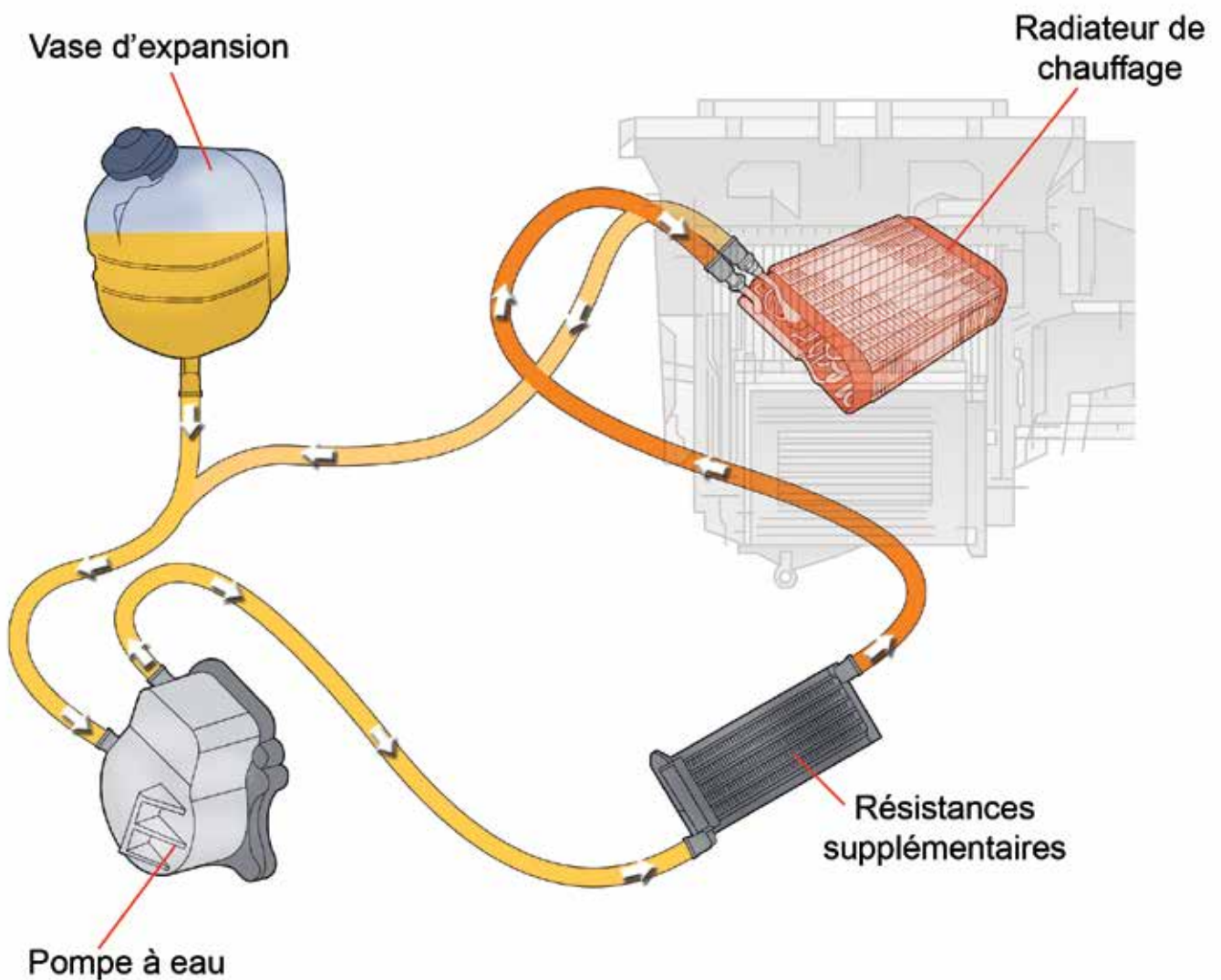
- Comment actionner le compresseur de l'air conditionné.
- Comment disposer d'une source de chaleur pour le chauffage.

En ce qui concerne la source de chaleur pour le chauffage, les premiers véhicules électriques étaient équipés d'un chauffage stationnaire qui fonctionnait avec un petit réservoir de combustible (essence ou diesel),

ce qui ressemblait à un chauffage domestique.

Une autre option plus moderne adoptée est l'emploi de résistances supplémentaires qui fonctionnent au voltage de la batterie de traction. Le système dispose en plus des composants suivants :

Les résistances supplémentaires réchauffent le liquide qui circule dans le circuit. Elles s'activent lorsque le véhicule est en marche et que la fonction de chauffage est sollicitée.





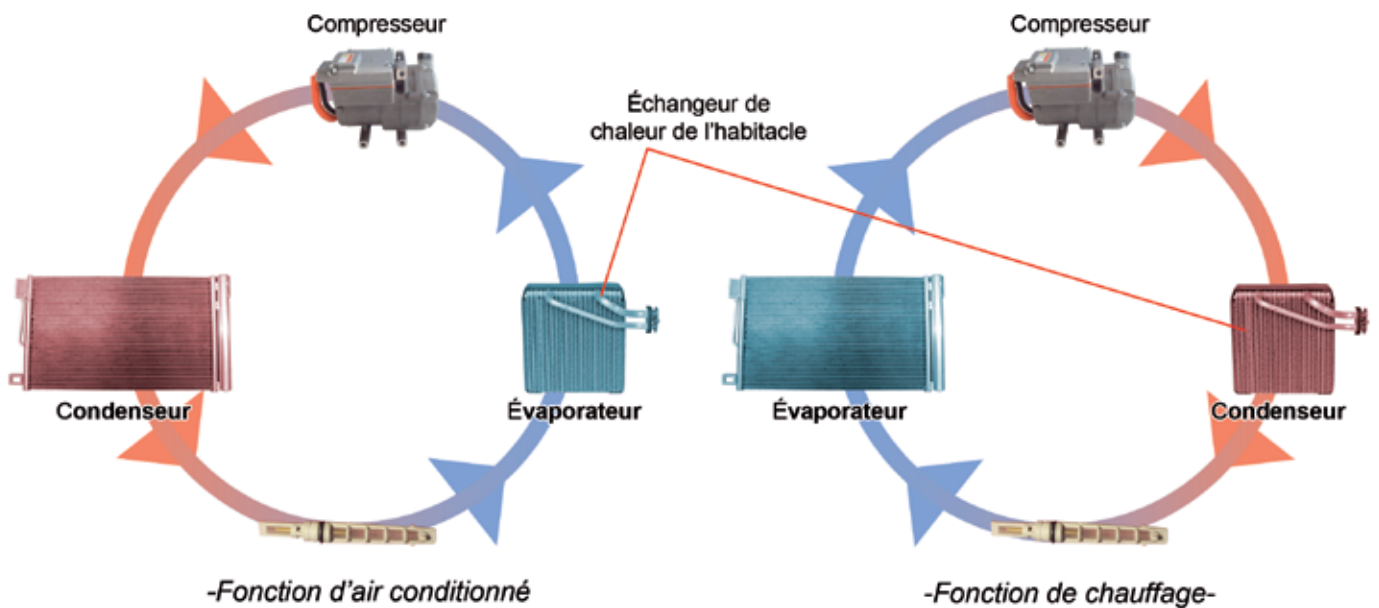
En boucle froide, les composants sont les mêmes que sur un véhicule traditionnel, la seule différence réside dans le fait que le compresseur de l'air conditionné est actionné par un moteur électrique intégré.

Généralement de type Scroll, ce type de compresseur est situé dans le compartiment moteur, tout comme dans les véhicules conventionnels. Le gaz utilisé dépend de l'année de fabrication du véhicule. Les plus habituels sont le R-134a et le 1234-yf.



Afin d'augmenter leur autonomie, de nombreux véhicules électriques disposent d'un programme permettant d'anticiper le réchauffement ou le refroidissement de l'habitacle au moment de charger la batterie du véhicule. Dans ce cas, l'énergie nécessaire pour ce processus provient du réseau électrique domestique et non de la batterie du véhicule. À son tour, l'équipement de climatisation du véhicule intervient aussi dans le refroidissement de la batterie de traction.

D'autres véhicules, comme la Renault ZOE emploient un système de climatisation réversible, c'est-à-dire un système permettant de réchauffer et de refroidir l'air. L'échangeur de chaleur de l'habitacle agit soit comme un condenseur pour dégager de la chaleur, soit comme un évaporateur pour émettre de l'air frais. Un groupe d'électrovannes est chargé d'inverser la fonction des deux échangeurs.



## ENTRETIEN

Tout comme les véhicules à combustion, les véhicules électriques ont eux aussi leur propre maintenance. Des entretiens les plus génériques, soulignons les interventions et révisions suivantes :

- Il est recommandé de changer le liquide réfrigérant tous les 150 000 km ou tous les 5 ans environ, il faut pour cela se référer aux spécifications du fabricant.
- Les fabricants recommandent de remplacer le liquide de freins à 120 000 km ou tous les 4 ans. La durée de vie des plaquettes de frein de ces véhicules est généralement plus longue que celle des plaquettes des véhicules traditionnels car le frein régénératif des véhicules électriques réduit leur usure.
- Le groupe réducteur emploie de l'huile pour les engrenages de transmission. Il est recommandé de vérifier le niveau de cette huile tous les 30 000 km (ces données dépendent de la révision du véhicule).
- Par prudence, certains fabricants recommandent de remplacer la batterie de 12 V de ces véhicules électriques tous les 3 ans.
- Il est recommandé de remplacer le filtre habitacle tous les 30 000 km.
- Quant au filtre déshydratant de l'air conditionné, il devrait être rem-

Soulignons que les pneus employés par de nombreux véhicules électriques sont d'un type spécial.

Vu le couple élevé offert par ces véhicules, des pneus avec un coefficient d'adhérence élevé ont été conçus. Certains fabricants misent sur l'utilisation de pneus d'un diamètre supérieur, mais de section étroite, offrant une résistance au roulage faible afin de pouvoir augmenter l'autonomie du véhicule (augmentation de 10 % selon le véhicule). Leur fréquence de remplacement dépend de leur usure.

placé tous les 2 ans. À l'ouverture du circuit de l'air conditionné, il faut prendre en compte les spécifications de l'huile du compresseur, dans ce cas, elle est de type POE. C'est une huile qui a des propriétés spécifiques d'isolation électrique qui protègent le compresseur de décharges électriques produites par le moteur.

Tout comme pour les véhicules traditionnels, il convient également de vérifier régulièrement les pneus, le liquide des lave-glaces, les essuie-glaces, les phares ainsi que d'entretenir et de remplacer le cas échéant, les composants mobiles tels que :

- Éléments du frein hydraulique
- Joints de rotule
- Roulements
- Pièces de direction et suspension





## Un œil sur la technologie automobile

La newsletter Eure!TechFlash entend compléter le programme de formation d'ADI, Eure!Car, et s'est fixé une mission bien précise :

fournir une connaissance technique actuelle des innovations au sein du secteur automobile.

Avec l'assistance technique de l'AD Technical Centre et des principaux fabricants de pièces, Eure!TechFlash vise à démystifier les nouvelles technologies pour les rendre transparentes, afin d'encourager les réparateurs professionnels à emboîter le pas de la technologie et pour les motiver à investir en permanence dans leur formation technique.

Eure!TechFlash paraîtra 3 à 4 fois par an.

**Eure!Car**  
CERTIFIED MASTERCLASSES

Le niveau de compétence technique d'un mécanicien est vital, et sera sans aucun doute décisif pour la survie future du

Le programme Eure!Car comprend une liste détaillée de formations techniques de pointe pour les réparateurs professionnels, dispensées par les partenaires nationaux d'AD et leurs distributeurs de pièces dans 49 pays.

réparateur professionnel.

Eure!Car est une initiative d'Autodistribution International, dont le siège est établi à Kortenberg, en Belgique ([www.ad-europe.com](http://www.ad-europe.com)).

Visitez le site [www.eurecar.org](http://www.eurecar.org) pour plus d'informations ou pour découvrir toutes les formations proposées.

### Les partenaires industriels soutenant Eure!Car



## TECHNOLOGIE HYBRIDE

