

Moteurs électriques dans la propulsion électrifiée

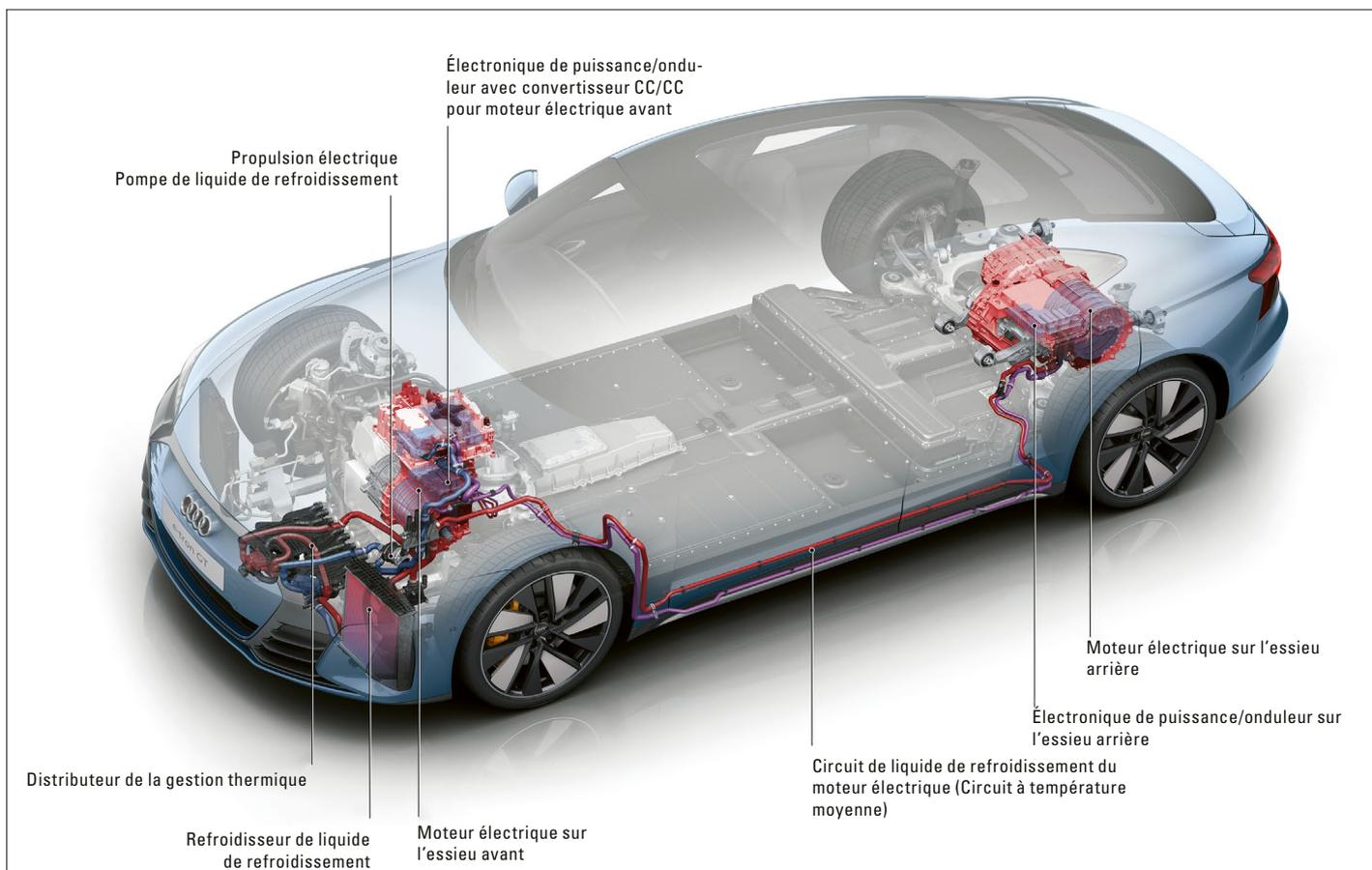
De nombreuses variantes

La diversité des moteurs électriques dans les types d'entraînements de véhicules électrifiés est vaste. Outre les moteurs asynchrones de construction simple, des moteurs synchrones dotés d'aimants permanents ou d'électroaimants sont utilisés du fait de leur rendement plus élevé et de la meilleure commande d'accélération et de récupération. Les moteurs électriques pourront être réparés à l'avenir. Qu'est-ce qui casse et comment se déroule la réparation ? **Andreas Senger**

Le moteur électrique est à la conquête permanente de la propulsion automobile. Outre les véhicules électriques à batterie, les véhicules hybrides et hybrides rechargeables se vendent bien. Les véhicules à pile à combustible sont aussi équipés d'une propulsion électrique. Certains constructeurs automobiles veulent disposer des compétences de développement et de fabrication en interne et renoncent délibérément à faire appel à des fournisseurs pour la pièce maîtresse, le moteur électrique. D'autres achètent le moteur et la commande, c'est-à-

dire l'électronique de puissance ou l'onduleur à des fournisseurs. Il ne faut pas sous-estimer l'effort de développement de propulsions électriques et de leur application dans différentes catégories de véhicules. En plus du coût des divers composants et l'adaptation à différents types de véhicules (des petites voitures à la catégorie supérieure, traction avant, arrière ou intégrale), les constructeurs doivent développer un module qui couvre tous les besoins de propulsion électrique du groupe et qui soit compatible avec l'après-vente.

Deux types de moteurs triphasés sont actuellement installés dans les voitures. La structure du moteur asynchrone est plus simple. Le stator fixe comporte des bobinages en cuivre qui génèrent un champ électromagnétique tournant grâce à l'électronique de puissance. Le rotor est constitué d'une cage d'écurieil. Des barres conductrices sont posées dans la tôle en fer doux à un angle légèrement oblique par rapport à l'arbre du rotor. Le champ magnétique tournant du stator induit une tension dans la cage d'écurieil qui fait circuler un courant dans



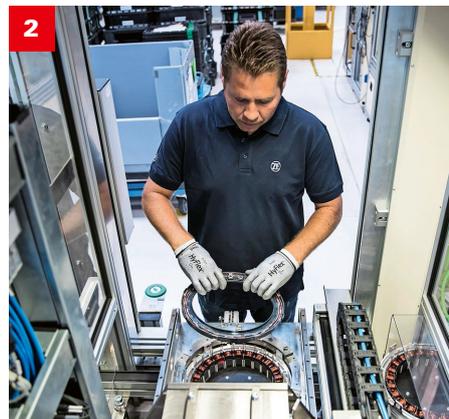
Les moteurs électriques haut de gamme sont conçus pour délivrer le couple et la puissance maximum. Grâce à la technologie HT 800 V, les moteurs électriques sont capables de délivrer un énorme couple de démarrage et de garantir d'excellentes performances de récupération. Une électronique de puissance assure la commande. Photo Audi

les conducteurs du rotor. Il en résulte la force de répulsion (force de Lorentz) qui produit le couple M sur le rayon du centre du rotor au point d'action de la force. Comme le champ tournant précède le champ du rotor, l'angle est asynchrone.

Sur les moteurs synchrones, le rotor dispose de son propre champ magnétique. Sur les machines MSP (moteurs synchrones permanents), le rotor est muni d'aimants permanents. Les moteurs à excitation externe, qu'utilisent BMW et Renault, n'ont pas besoin d'aimants permanents coûteux dans le rotor. Ils sont dotés de câbles en cuivre qui génèrent le champ magnétique électromagnétiquement.

En fonctionnement, l'électronique de puissance régule uniquement le champ tournant du stator, comme pour le moteur asynchrone. Le rotor tourne à la même vitesse angulaire que le champ du stator, d'où le terme synchrone (en même temps). Dans le cas d'un moteur synchrone à excitation externe, le champ du rotor, dont l'intensité peut être modifiée, est également représenté par un branchement CC, ce qui permet de régler plus précisément la récupération, c'est-à-dire le fonctionnement en générateur, et d'optimiser la roue libre en l'absence de courant du rotor. L'arrêt du champ électromagnétique du rotor ne produit aucune tension d'induction et donc aucun couple de freinage lors du roulage, ce qui est avantageux en traction intégrale (moteur électrique avant et arrière). Ce dispositif ou un moteur asynchrone sur l'essieu avant, afin d'éviter l'effet de freinage lors de la coupure du champ du stator pour favoriser la roue libre ou désactiver la propulsion aux roues avant est donc privilégié sur les tractions intégrales.

Les trois types de moteurs triphasés sont propices à une approche modulaire. Les diamètres du rotor sont souvent égaux et seule la longueur varie pour représenter différentes variantes de couple et de puissance. Sur des véhicules plus chers, la variante à quatre roues motrices est facile à mettre en œuvre et favorise même la dynamique de conduite avec trois moteurs électriques. Si deux moteurs électriques indépendants (à gauche et à droite) sont installés sur l'essieu de propulsion principal, l'électronique de puissance permet de distribuer asymétriquement le couple dans les virages. Les VEB souvent lourds subissent ainsi moins de sous-virage lors de l'accélération en sortie de courbe et le couple de la



1 Le bobinage de moteurs électriques ne faisait pas partie des compétences des constructeurs automobiles autrefois. Des enrouleurs automatiques peuvent bobiner en série les fils de cuivre du stator et, dans le cas d'un moteur à excitation externe, ceux du rotor. Il faut que les moteurs électriques puissent être rebobinés en cas de réparation, si la résistance d'isolation des fils entre eux est trop faible et si la haute tension subit une défaillance (court-circuit entre spires). **2** La fabrication de moteurs électriques est variée : l'utilisation du moteur sur un VEB ou un hybride détermine sa forme et l'effort de fabrication. **3** Les fournisseurs construisent souvent le moteur électrique et livrent sur la chaîne de montage la boîte de vitesses à un rapport (rarement à deux rapports) sous forme de composant modulaire. Photos : Renault (en haut), ZF (en bas)

transmission asymétrique sur l'essieu arrière engagé autour de l'axe vertical rend le véhicule plus agile.

Les moteurs électriques sont généralement dotés d'une boîte de vitesses d'entrée. L'évolution du couple et de la puissance ainsi que la grande plage de régime permettent de simplifier la chaîne cinématique. Seule une boîte de compensation à différentiel est installée en aval de la boîte d'entrée pour équilibrer les vitesses des roues extérieures et intérieures dans les virages. Des embrayages sont inutiles, car les moteurs électriques délivrent leur couple maximal d'emblée. Sauf sur les hybrides, des embrayages sont installés en

fonction du concept pour séparer le moteur thermique du groupe motopropulseur en conduite purement électrique. Sur ces concepts, le moteur électrique est implanté entre le moteur thermique et la boîte de vitesses ou dans la boîte de vitesses. Il est possible de se passer de blocages longitudinaux et donc de concepts de traction intégrale complexes. La régulation de deux moteurs électriques par les deux onduleurs ne pose aucun problème grâce à la commande centrale de la propulsion. Les constructeurs qui cherchent à garantir des accélérations généreuses et une

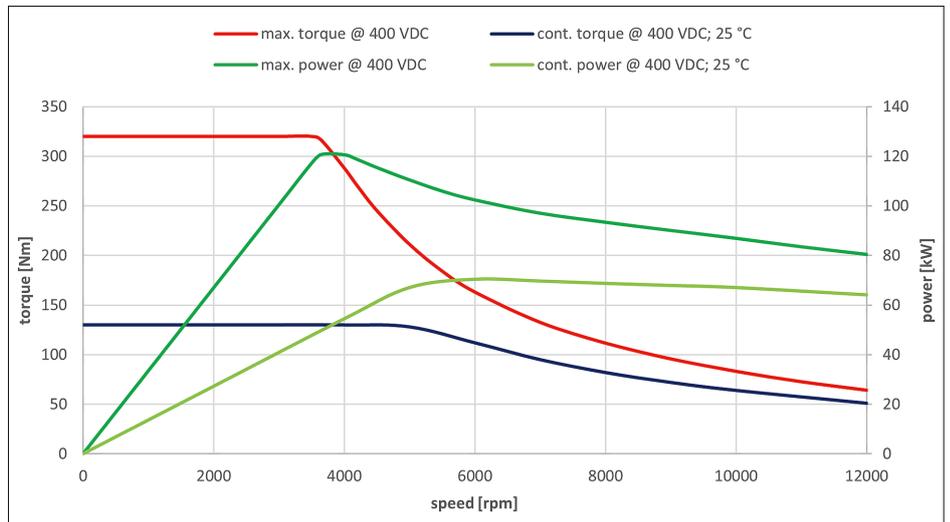
Suite en page 44

faible consommation à des vitesses élevées utilisent des réducteurs à deux vitesses (uniquement sur l'essieu arrière), ce qui permet de réduire le régime du moteur électrique lorsqu'il tourne à vitesse autoroute et donc de réduire la consommation d'énergie électrique.

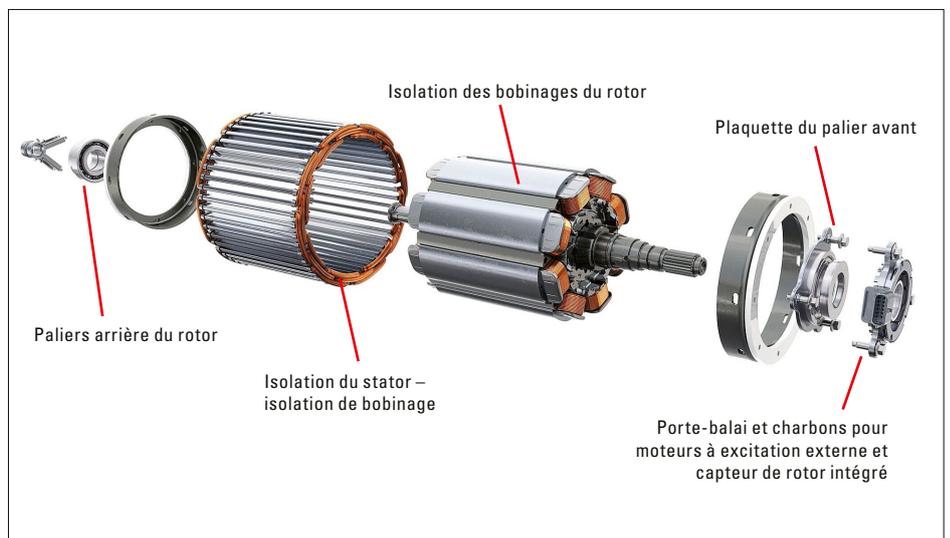
Les moteurs électriques comprennent peu de composants et sont donc moins coûteux que les moteurs thermiques, mais ils ne sont pas à l'abri de l'usure. Une gestion thermique complexe est nécessaire pour maîtriser la température des moteurs de propulsion en cas d'accélération ou de récupération répétées. Les propulsions simples sont équipées d'un refroidissement à air (petits véhicules). Le refroidissement par l'huile lubrifiante dans le carter du moteur électrique constitue la méthode suivante. Sur les véhicules puissants, la chaleur doit être évacuée grâce à un liquide de refroidissement, malgré le rendement élevé de la conversion d'énergie.

Les travaux de maintenance devraient en principe disparaître du fait de la simplicité de la conception, mais ce n'est pas le cas. Outre le contrôle des différents circuits du liquide de refroidissement, il est nécessaire, en fonction du refroidissement, de drainer le liquide de refroidissement dans les réservoirs de fuite et/ou de vérifier le niveau d'huile. Certains constructeurs définissent des intervalles de vidange d'huile pour le moteur électrique et la transmission d'essieu. Comme de nombreux moteurs sont dépourvus de filtre à huile, la faible usure du métal des paliers du rotor de la boîte de compensation découle des couples élevés du moteur dans le logement. Le porte-balai et les balais en charbon doivent être remplacés sur les moteurs synchrones à excitation externe.

Les moteurs de propulsion défectueux et la boîte de vitesses sont souvent remplacés si le véhicule est encore sous garantie. Les composants mécaniques tels que les roulements à billes du rotor ou le capteur du palier du rotor peuvent être remplacés au terme de la garantie.



Sur un véhicule, un moteur triphasé peut être alimenté temporairement à une tension plus élevée et donc prélever plus de courant, ce qui est avantageux. L'augmentation à court terme du couple et de la puissance (boost) peut être utilisée pour dépasser ou pour obtenir une puissance de récupération élevée. Photo Brusa



Il y a peu de pièces d'usure sur un moteur électrique : les deux paliers du rotor, le capteur de paliers du rotor sur un moteur synchrone et l'isolation des fils en cuivre dans le stator et le rotor par vieillissement sont les seules. Des réparations seront facilement réalisables à l'avenir si des pièces de rechange sont disponibles. Photo Renault

Il est toutefois difficile de réparer les fils électriques mal isolés dans les bobinages du stator ou du rotor. Si la tension élevée passe dans d'autres bobinages ou dans le carter lors du contrôle de l'isolation, le couple baisse et il existe un risque de court-circuit dû aux bobinages qui peut endommager l'électronique de puissance. Des experts en bobinage de moteurs électriques sont alors sollicités. Peu d'entreprises possèdent encore le savoir-faire

nécessaire pour rebobiner entièrement un moteur électrique pour qu'une réparation soit possible. Reste à savoir comment la branche gèrera les moteurs électriques défectueux. La révision centralisée des moteurs électriques sous forme de pièce de rechange serait judicieuse et durable et garantirait aux clients une réparation à moindre coût. De tels concepts font l'objet de discussions, mais ils ne sont pas encore mis en œuvre, loin de là. <

COMPTEUR DE PARTICULES CAP3070

LA MESURE FIABLE ET RAPIDE

Installation simplifiée | Maintenance réduite | Durée de vie prolongée.



 **Capelec**
www.capelec.com

