

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	76 (1985)
Heft:	13
Artikel:	Entraînement des véhicules électriques routiers : développements actuels et perspectives
Autor:	Jufer, M.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-904638

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Entraînement des véhicules électriques routiers – développements actuels et perspectives

M. Jufer

En partant des conditions particulières des entraînements électriques de véhicules routiers l'auteur fait le tour des différentes solutions de l'ensemble alimentation-moteur envisageables. Il en présente les caractéristiques et les particularités et conclut que les moteurs à collecteurs en faveur aujourd'hui seront remplacés à l'avenir par des moteurs asynchrones ou synchrones à aimants permanents.

Von den besonderen Anforderungen an den Elektroantrieb von Strassenfahrzeugen ausgehend gibt der Autor einen Überblick über mögliche Kombinationen von Speise- und Motorarten anhand von deren Kennlinien. Er folgert daraus, dass die heute gerne verwendeten Kollektormotoren in Zukunft von Asynchronmotoren sowie von Synchronmotoren mit Permanentmagneten verdrängt werden.

1. Importance et spécificité de l'entraînement électrique

Dans leur évolution, les véhicules routiers à propulsion électrique sont avant tout tributaires du stockage d'énergie sous forme de batteries. Tout progrès dans ce domaine se répercute automatiquement sur les performances – autonomie, accélération, poids, prix – du véhicule. L'évolution en matière d'alimentation, de propulsion et de commande ne présente actuellement pas l'importance de celle du stockage. Néanmoins, les performances massiques du moteur à explosion restent supérieures à celle du moteur électrique. Les progrès dans ce domaine présenteront donc à terme un gain appréciable. Rappelons qu'une réduction de poids de l'ordre de 1% est équivalente, sur le plan énergétique, à une amélioration du rendement de 1% également. En effet, des véhicules destinés principalement à circuler en ville sont caractérisés par une vitesse lente et de fréquentes accélérations. L'énergie consommée est en première approximation proportionnelle à la masse. Le facteur poids est donc particulièrement important pour de telles applications.

Des véhicules équipés d'une alimentation par batterie sont caractérisés

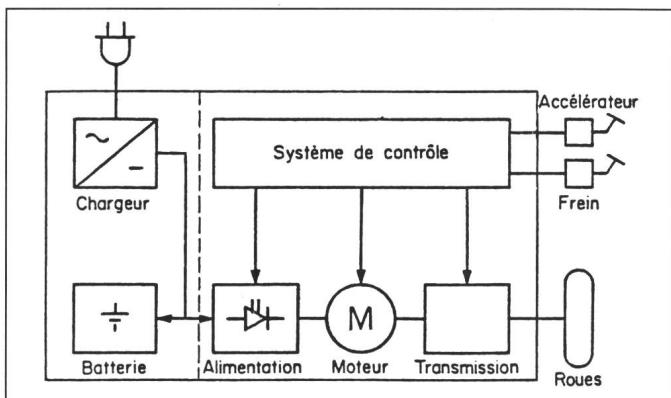
par une tension relativement basse. Une valeur de 120 à 140 V peut être considérée comme un maximum pour une puissance de 30 kW. Il en résulte un courant de l'ordre de 250 à 300 A, particulièrement élevé pour une telle installation. Néanmoins, les progrès récents en matière de composants électroniques de puissance – MOS-FET, GTO, transistors bipolaires – permettent de maîtriser de tels courants sans trop de difficultés et avec des prix nettement à la baisse.

2. Configuration de base

Un véhicule équipé de batteries comme seule source d'énergie, comprend les composants de base de la figure 1:

- Le chargeur sera embarqué, afin d'assurer les possibilités de recharge les plus larges.
- Le système de conversion électrique de puissance peut être de type hacheur ou convertisseur de fréquence selon le type de moteur.
- Le moteur (décrit au paragraphe 3) peut comprendre un dispositif de réglage auxiliaire tel que l'atténuation du champ d'excitation.
- Le système mécanique de transmission peut être direct (réducteur) ou adaptable (boîte à vitesse, variateur).
- Le dispositif de contrôle adapte les conditions d'alimentation aux condi-

Fig. 1
Configuration de principe de l'entraînement



Adresse de l'auteur

Prof. Marcel Jufer, Laboratoire d'électromécanique et de machines électriques (LEME), EPFL, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne.

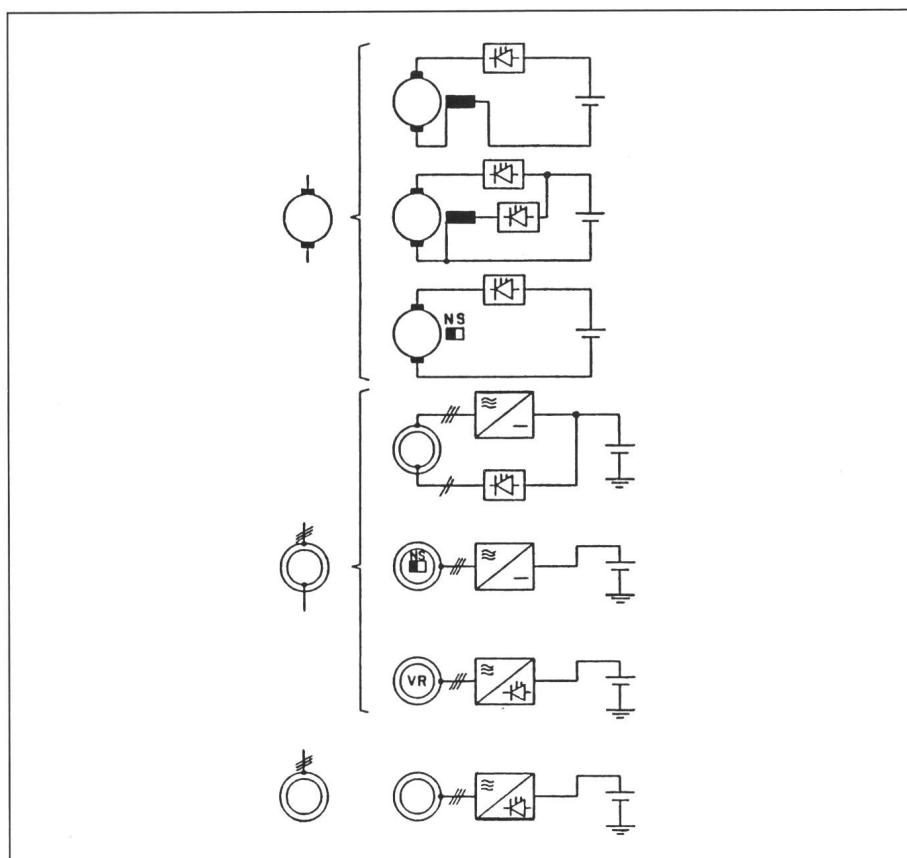


Fig. 2 Solutions principales envisageables pour le moteur et son alimentation

	Moteur	Convertisseur
Moteur à courant continu (collecteur)	Excitation série Excitation shunt Excitation permanente	Hacheur d'induit Hacheur d'induit + hacheur d'excitation (ou résistance de démarrage ou boîte à vitesse)
Moteur sans collecteur	avec rotor excité avec rotor non excité	synchrone ou courant continu sans collecteur asynchrone
	excitation électrique excitation à aimants permanents à réductance variable à induction	Hacheur d'excitation Convertisseur de fréquence à commutation naturelle Convertisseur de fréquence à commutation forcée

tions de charge du véhicule (pente, masse) et aux consignes du conducteur.

3. Possibilités d'entraînements électriques

En ce qui concerne l'ensemble moteur-alimentation, on peut formuler les deux remarques générales suivantes:

La commutation des bobinages peut être opérée soit par le moteur lui-même, par le biais d'un commutateur électromécanique (le collecteur), soit par un commutateur électronique dans le cas de moteurs sans collecteurs. Le réglage de puissance peut être réalisé par le dispositif électronique d'alimen-

tation et de commande ou par la transmission de façon mécanique (boîte à vitesse, variateur); la combinaison de ces deux modes est également possible.

Actuellement, les principales solutions envisageables pour la traction électrique de voitures automobiles sont résumées à la figure 2. Afin d'illustrer cette énumération, les figures suivantes présentent quelques exemples de moteurs destinés à des véhicules automobiles, de type hybride ou «tout électrique».

La figure 3 présente les caractéristiques de puissances électrique et mécanique ainsi que de couple d'un moteur à courant continu à excitation séparée, à démarrage sur rhéostat et à atténuation de champ.

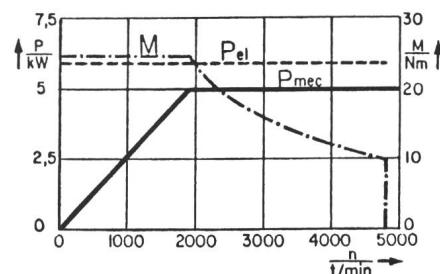


Fig. 3 Caractéristiques d'un moteur à courant continu 5 kW à démarrage sur rhéostat et à atténuation de champ

P_{el} puissance électrique absorbée
 P_{mec} puissance mécanique à l'arbre
 M couple
 n vitesse de rotation

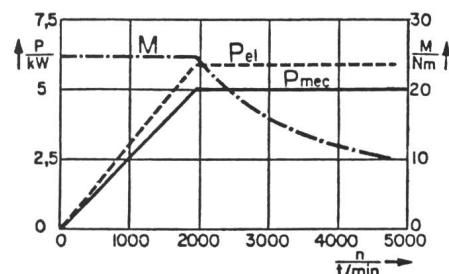


Fig. 4 Caractéristiques du même moteur que figure 3 alimenté par un hacheur

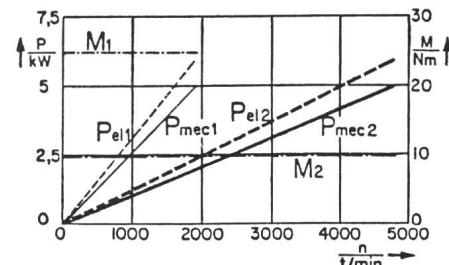


Fig. 5 Caractéristiques d'un moteur à courant continu 5 kW à excitation par aimants permanents

Indice 1: variante à pleine excitation
 Indice 2: variante avec excitation réduite à 40%

tion de champ. Cette solution est peu favorable par l'importance de l'énergie dissipée au démarrage, supérieure à l'énergie cinétique. Le moteur est caractérisé par une puissance mécanique de 5 kW.

La figure 4 présente les mêmes caractéristiques pour un moteur de 5 kW également, mais alimenté par un hacheur. Le bilan énergétique est nettement plus favorable au démarrage.

La figure 5 correspond aux caractéristiques de deux variantes d'un moteur à courant continu à excitation par aimants permanents. La variante 1 présente un niveau d'excitation élevé, correspondant à la pleine excitation du moteur à excitation séparée. On re-

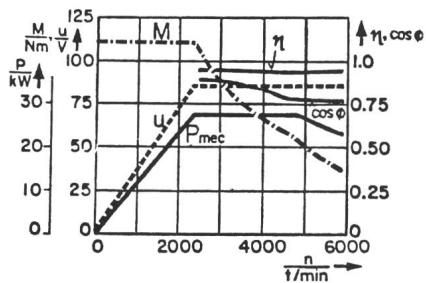


Fig. 6 Caractéristiques d'un moteur asynchrone 27,5 kW alimenté par un convertisseur de fréquence
u tension de ligne efficace

trouve donc la caractéristique de démarrage de ce dernier moteur. Cependant, il n'est plus possible d'accélérer le moteur au-delà de 40% de la vitesse maximale. La deuxième variante a un niveau d'excitation réduit à 40% permettant ainsi d'atteindre des vitesses plus élevées, mais le couple de démarrage est réduit en proportion. Cette solution présente donc beaucoup moins de souplesse, sauf en recourant à des technologies d'alimentation plus sophistiquées, telles qu'une élévation du niveau de tension par hacheur.

La figure 6 présente les caractéristiques de puissance mécanique, de couple et de tension (tension de ligne efficace) d'un moteur asynchrone de 27,5 kW, alimenté par un convertisseur de fréquence. La tension de batterie est de 120 à 140 V. Au-delà d'une vitesse de 4700 tr/min environ, la puissance est réduite pour conserver une marge de sécurité relative au couple de décrochage. La figure montre également l'évolution des caractéristiques de rendement et le facteur de puissance du même moteur.

La figure 7 permet une comparaison des caractéristiques de ce moteur avec celles du moteur à courant continu (indice f). Les différences essentielles concernent la vitesse maximale limitée par le collecteur du moteur à courant continu et une caractéristique sans dis-

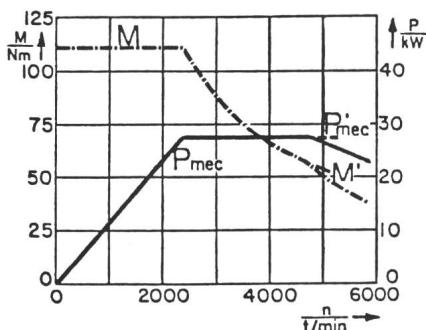


Fig. 7 Comparaison du moteur asynchrone de la figure 6 et d'un moteur à courant continu de même puissance

continuité dans ce dernier cas.

Quant au moteur synchrone, ses caractéristiques sont de façon générale très proches de celles du moteur à courant continu.

4. Critères de choix

L'utilisation d'un entraînement électrique pour un véhicule routier implique des critères de choix spécifiques liés au mode d'utilisation et aux aspects économiques. Les contraintes spécifiques guidant le choix sont principalement:

- la continuité de la courbe d'entraînement (couple) pour des raisons de confort et d'insertion dans le trafic;
- la récupération d'énergie en freinage de maintien ou de décélération;
- puissance massique la plus élevée possible;
- un rendement élevé sur toute la plage de fonctionnement. Les trois points précédents ont une incidence sur la consommation d'énergie, donc sur l'autonomie;
- une intégrabilité élevée des composants dans le châssis d'un véhicule;
- des frais d'entretien faibles;
- une grande fiabilité;
- un investissement le plus faible possible.

De ces divers critères, certains appellent un commentaire par leur caractère particulier.

La masse, directement liée au bilan énergétique, a déjà été signalée. Une puissance massique élevée du moteur se répercute immédiatement sur la consommation. Cependant, une réduction de masse implique un moteur à vitesse élevée. Ceci entraîne un système de transmission aux pertes accrues, au détriment du rendement. Un compromis est à établir, qui présentera un optimum en fonction de la technologie choisie.

Le freinage avec récupération fait généralement partie du cahier des charges de l'entraînement d'un véhicule électrique. Les performances d'un tel dispositif sont directement liées à la complexité du système et à son coût. Le freinage électrique exige un convertisseur réversible et (ou) un dispositif d'excitation adaptable. Une alimentation de type hacheur ou convertisseur de fréquence réversible implique un coût supérieur et une complexité accrue, donc en général un poids supérieur. L'adaptation de l'excitation entraîne une conception spécifique du moteur et parfois, dans le cas de l'extension de la plage de vitesse et de récupération, une augmentation de poids.

D'autres contraintes réduisent les performances en freinage. En effet, la

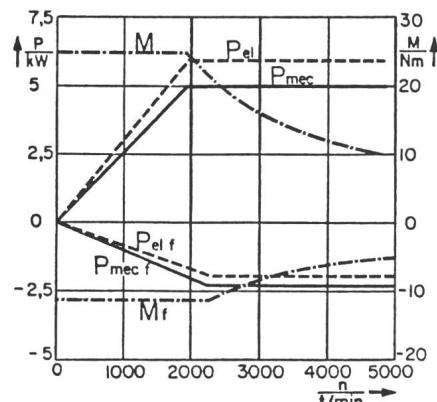


Fig. 8 Caractéristiques du moteur à courant continu avec hacheur (fig. 3) en marche et en récupération
Indice f: récupération

batterie ne supporte généralement dans ce régime qu'une fraction de l'ordre de 30% du courant de décharge. Les performances en récupération sont donc limitées et doivent, dans tous les cas, se doubler d'un complément mécanique (fig. 8). Le bilan économique de la récupération par freinage est généralement négatif. Néanmoins, la souplesse d'une telle solution la rend en général intéressante.

Globalement, les moteurs sans collecteurs sont plus légers que les moteurs à courant continu. En revanche, le poids de la fonction commutation électronique est à prendre en considération. En particulier, la réalisation de moteurs sans collecteurs permet l'intégration directe du moteur dans la roue. Des solutions avec aimants permanents, si elles sont moins performantes par manque de souplesse, permettent en revanche des puissances massiques nettement plus élevées.

Actuellement, la solution réalisant le meilleur compromis technico-économique est le moteur à courant continu avec excitation séparée, associé à un réglage de l'excitation et à une alimentation par un hacheur.

L'avenir verra la disparition des moteurs à collecteurs, au bénéfice du moteur asynchrone et du moteur synchrone à aimants permanents (moteurs à courant continu sans collecteur). De tels développements présentent l'intérêt d'expérimenter la technologie qui sera la plus adéquate lorsque des progrès significatifs seront réalisés en matière de batteries.

Bibliographie

- [1] M. Jufer: Entraînements électriques. Cours EPFL. Lausanne, EPFL, sans date.
- [2] G. Brusaglino: Electric drive systems for road vehicles. Proceedings of the symposium on electrical drives for ground transportation, Positano, 9...11 May 1983; p. 262...269.