

## 4.9 Entraînement thermoélectrique

### 4.9.1 Principe

Au lieu de recevoir l'énergie électrique depuis une ligne de contact, les moteurs électriques d'un engin thermoélectrique reçoivent leur énergie d'un groupe électrogène placé à bord, qui transforme l'énergie chimique d'un carburant en énergie électrique.

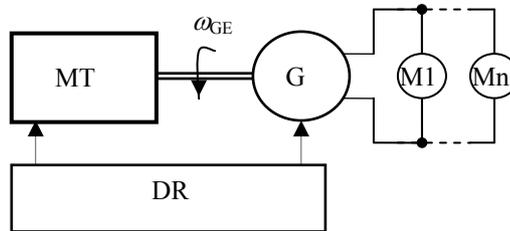


Fig. 4.203A Entraînement thermoélectrique: principe.

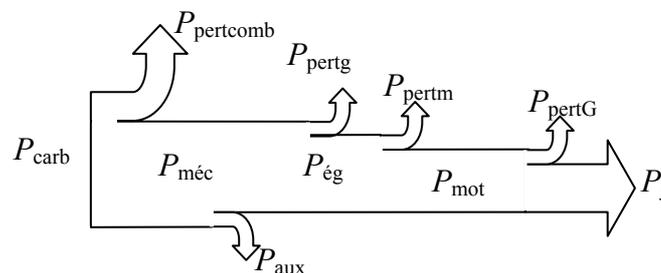


Fig. 4.203B Entraînement thermoélectrique: flux de puissance (les largeurs de flèche ne sont pas à l'échelle).

L'entraînement se compose de quatre niveaux :

- Une machine thermique MT reçoit une puissance sous forme d'un débit  $q$  de carburant et la transforme en puissance mécanique avec un rendement  $\eta_{MT}$ .
- Une génératrice G transforme la puissance mécanique en puissance électrique avec un rendement  $\eta_g$ . La puissance mécanique de la machine thermique doit encore alimenter les auxiliaires notamment le dispositif de réglage DR et l'excitation de la génératrice.
- Les moteurs de traction transforment la puissance électrique en puissance mécanique rotative avec un rendement  $\eta_{mot}$ .
- La transmission et les roues transforment cette puissance en puissance de translation à la jante avec un rendement  $\eta_G$ .

Chaque transformation est caractérisée par un rendement de telle sorte que la puissance disponible à la jante ne dépasse guère le 30 % de la puissance du carburant injecté.

$$P_{méc} = \omega_{GE} M_{MT} \quad (4.100)$$

$$P_{méc} = \eta_{MT} e_{carb} q \quad (4.101)$$

$$P_{ég} = \eta_g (P_{méc} - P_{aux}) \quad (4.102)$$

$$P_{mot} = \eta_{mot} P_{ég} \quad (4.103)$$

$$P_j = \eta_G P_{mot} \quad (4.104)$$

La machine thermique est le plus souvent un moteur diesel (p. ex GTW 2/6 de Stadler) ou un turbine à gaz (Amtrak : JetTrain, SNCF : TGV001). Le rendement d'un moteur diesel dépend de son point de fonctionnement. Les dispositifs de réglage modernes ajustent le point de fonctionnement du moteur pour optimiser ce rendement à la puissance demandée pour la

traction et les auxiliaires (courbe AC sur la figure 4.205). Pour les engins de traction affectés aux trains voyageurs, le groupe électrogène doit encore fournir la puissance hôtelière (chauffage ou climatisation, éclairage,...).

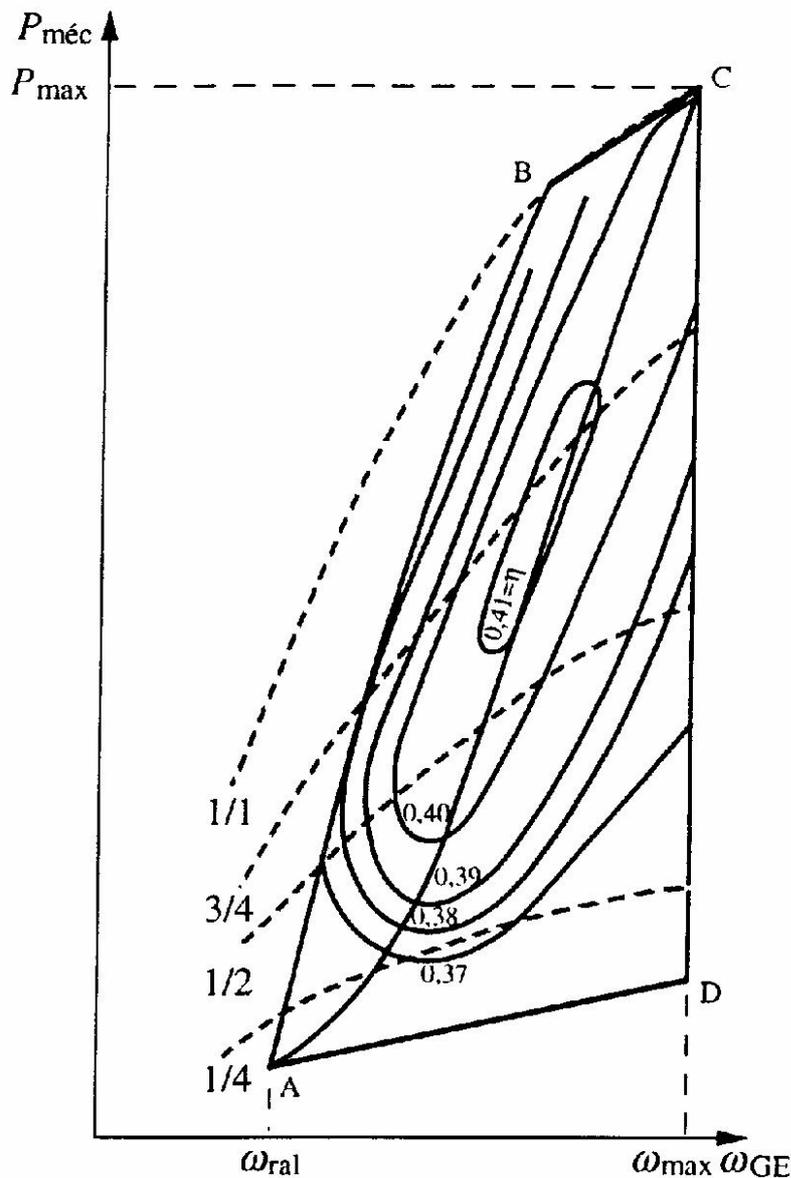
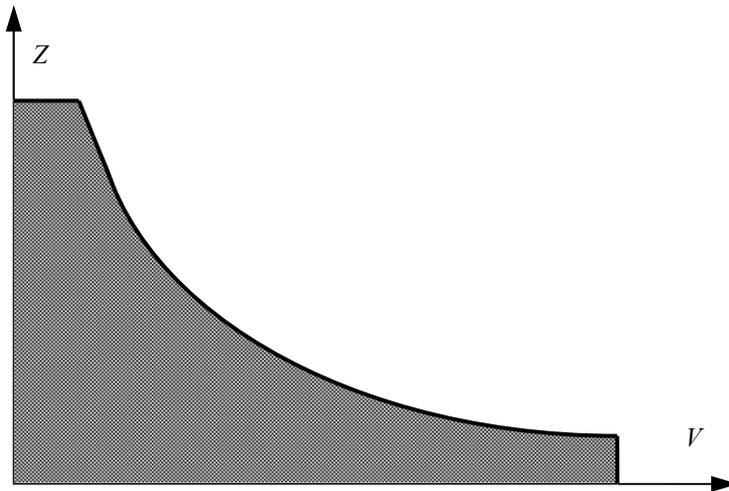


Fig. 4. 205 Rendements d'un moteur diesel sur la caractéristique puissance-vitesse.

La courbe AD est la limite inférieure de fonctionnement pour éviter l'encrassement du moteur, la courbe AB la limite supérieure pour éviter de trop grands rejets de fumée et la courbe BC correspond à la pleine ouverture des injecteurs. Le rendement d'un moteur diesel ne dépasse guère les 40 %, et seulement pour des puissances comprises entre la moitié et les trois quarts de la puissance maximale.

Contrairement aux engins électriques purs, les moteurs de traction ne peuvent guère être sollicités au-delà de leur puissance nominale, car la puissance totale est limitée par celle du groupe électrogène, ce qui donne une caractéristique de traction très étirée (fig.4.215) typique des engins diesel. L'effort maximal commence déjà à diminuer à une vitesse assez faible et l'effort résiduel à vitesse maximale est très faible.

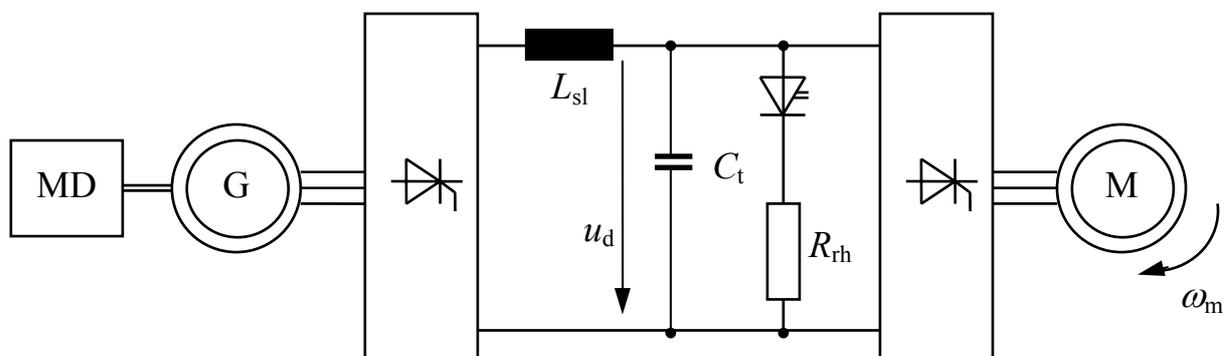


**Fig. 4.215** Entraînement diesel-électrique: caractéristique de traction en fonction de la vitesse.

La génératrice a connu trois stades de développement :

1. Au début, ce fut au début une machine à collecteur à trois enroulements d'excitation – série, shunt et séparée – dont on ajustait le point de fonctionnement par le courant d'excitation fourni par la batterie et amplifié par une machine spécifique entraînée par le moteur thermique (fiche 8.10.1). D'autres variantes de réalisation ont aussi été appliquées.
2. Dès la fin des années '60, on a utilisé une machine synchrone suivie d'un redresseur triphasé à diodes. Le point de fonctionnement est ajusté par le courant rotorique fourni par une machine d'excitation (fiche 8.10.5).
3. Dès 2000 environ, certaines réalisations font appel à une machine asynchrone suivie d'un pont triphasé commandé. Le point de fonctionnement est réglé par la différence entre la fréquence de la génératrice et celle du pont en régime redresseur. Avec cette structure, on peut, en freinage, couper l'alimentation du moteur diesel, la machine asynchrone fonctionnant alors en moteur pour fournir la puissance aux auxiliaires et le pont triphasé fonctionnant en onduleur.

Les moteurs de traction furent au début des moteurs à collecteur à excitation série, comme en traction électrique pure. Ils étaient branchés en parallèle aux bornes de la génératrice (à collecteur ou synchrone redressée). Dès le début des années '80, on adopta des machines asynchrones alimentées par ponts triphasés à fréquence variable (fiche 8.10.3).



**Fig. 4.227** Entraînement diesel-électrique: transmission asynchrone-continu-asynchrone.

Dans les piles à combustibles, la conversion de la puissance du carburant (Hydrogène) à la puissance électrique se fait sans passer par une puissance mécanique. La puissance électrique est produite sous forme de tension continue assez basse, mais avec un courant assez élevé, ce qui amène à choisir un hacheur élévateur de tension avant le circuit intermédiaire.

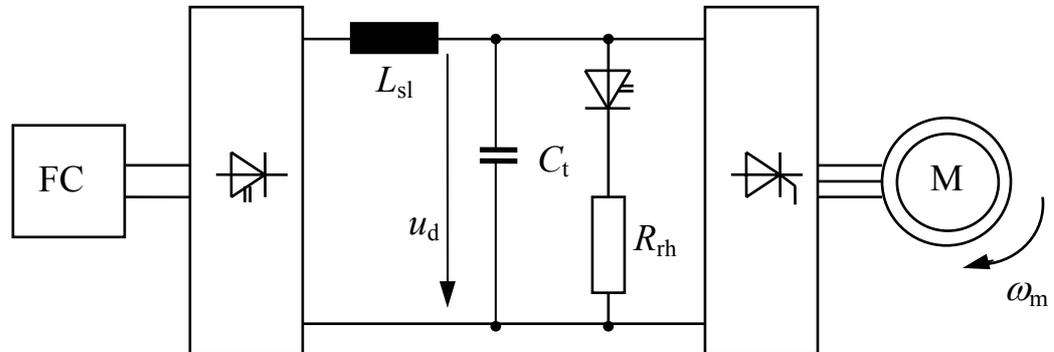


Fig. 4.228 Entraînement à pile à combustible: transmission continu-continu-synchrone.

On peut souligner quelques avantages et inconvénients d'une telle chaîne de traction par rapport à une chaîne diesel-électrique (2003), mais susceptibles d'évoluer ces prochaines années.

- Meilleur rendement (70 % au lieu de 30 %).
- Gaz d'échappement formés de vapeur d'eau.
- Stockage de carburant nettement plus délicat.
- Stations service plus complexes.
- Encombrement plus important.
- Prix d'achat plus élevé.
- Entretien plus important.
- Fiabilité plus faible.