



NOUVELLES TRANSMISSIONS MECANIQUES

Parcours de formation

Ce document vous est remis à titre personnel. La reproduction, l'adaptation ou l'utilisation de tout ou partie de ce document est autorisée pour un usage personnel et privé, à l'exclusion de toute utilisation commerciale. En cas de partage et/ou d'adaptation, vous vous engagez à créditer le document et à indiquer si des modifications ont été effectuées.



AUVERGNE - RHÔNE - ALPES
EUROPEAN CLUSTER
FOR MOBILITY SOLUTIONS

Table des matières

MODULE 1 - Qu'est ce qu'une transmission pour une motorisation hybride ou électrique ?..	3
Chapitre 1 - Quelles sont les différentes transmissions et leurs principales caractéristiques ?	4
Chapitre 2 - Quels sont les composants d'une chaine de transmission ?.....	5
Chapitre 3 - Comment l'électrification des véhicules influence les transmissions mécaniques ?....	6
MODULE 2 Quels impacts de l'électrification des véhicules sur les nouvelles transmissions ?	8
Chapitre 1 - Quelles sont les différentes transmissions et leurs principales caractéristiques ?	9
Chapitre 2 - Quels sont les nouveaux risques et les nouvelles contraintes liés aux chaines de transmission des véhicules électrifiés ?.....	9
Chapitre 3 - Quels sont les impacts sur les véhicules industriels, utilitaires et off-road ?	11
MODULE 3- Comment choisir et modéliser une chaine de transmission optimale ?.....	12
Chapitre 1 - Comment optimiser le choix de l'architecture ?.....	13
Chapitre 2 - Comment modéliser une chaine de transmission pour un véhicule électrifié ?	14
Chapitre 3 - Comment l'évolution des transmissions impacte l'intervention du technicien ?	15

MODULE 1

Qu'est-ce qu'une transmission pour une motorisation hybride ou électrique ?

- **Chapitre 1 : Quelles sont les différentes transmissions et leurs principales caractéristiques ?**
- **Chapitre 2 : Quels sont les composants d'une chaîne de transmission ?**
- **Chapitre 3 : Comment l'électrification des véhicules influence-t-elle les transmissions mécaniques ?**

Et 3 niveaux d'apprentissage :

-  Sensibilisation
-  Approfondissement
-  Expertise

Chapitre 1

Quelles sont les différentes transmissions et leurs principales caractéristiques ?

- Définition du cadre de la transmission mécanique et son environnement : on part de la roue jusqu'aux sorties moteur. Les éléments liés à la direction sont peu impactés par l'électrification (principes et technologies similaires).
- Sur un véhicule thermique, on parle de boîte de vitesse, sur les véhicules électriques ou hybrides, on parlera généralement de convertisseurs de couple. Il existe différents types de boîtes de vitesse :
 - Manuelle - boîte de vitesse mécanique
 - Robotisée - boîte de vitesse mécanique dotée de capteurs avec un calculateur et un système hydraulique pour piloter l'embrayage
 - Automatique - les changements de rapports sont activés par l'embrayage, et gérés par le convertisseur
- Une boîte automatique est un convertisseur de couple, mais il existe d'autres types de convertisseurs de couples, par exemple les réducteurs.
- Quelques notions clés pour aborder le fonctionnement des transmissions :
 - Rendement : indicateur de l'efficacité énergétique d'une machine - pour le calculer, on se réfère au rapport entre la performance produite et l'entrée d'énergie
 - Puissance : La puissance est le produit d'un "effort" avec un "flux"
 - Dans le domaine de l'électricité : effort = tension et flux = courant
 - Dans le domaine de la mécanique de rotation : effort = couple et flux = vitesse
 - Ouverture de boîte : La possibilité de prendre en considération la puissance et le couple d'entrée de la boîte par rapport au moteur - démultiplication ou réduction pour jouer sur le couple ou la puissance, et donc la vitesse. Cette caractéristique sera impactée par l'électrification des véhicules - enjeux de tension, contraintes
 - Plage de fonctionnement : Dimensionnement optimal de la boîte/du convertisseur en fonction de différentes contraintes - ces contraintes (exigences opérationnelles, consommation, rendement (température), le conducteur passe la bonne vitesse) évoluent avec l'électrification des véhicules



Décrire le fonctionnement des boîtes de vitesse
Connaitre les transmissions et leurs principes de fonctionnement
Définir la transmission dans le cadre des véhicules électrifiés

Chapitre 2 Quels sont les composants d'une chaîne de transmission ?

Les composants liés à l'ensemble de direction seront peu impactés par l'électrification - ne seront pas traités ici.

- Les composants peuvent varier selon les architectures et le niveau d'électrification des véhicules.
 - La chaîne de transmission d'un véhicule électrique est en général plus simple qu'une transmission hybride
 - Une transmission hybride peut être complexe : les moteurs peuvent par exemple être en parallèle ou en série, etc. (voir parcours architecture)
- Quelques exemples sur des véhicules hybrides :
 - Montage hybride série : seul le moteur électrique a un lien avec la transmission et les roues du véhicule, le moteur thermique sert de générateur électrique pour recharger les batteries.
 - Montage série-parallèle : un train épicycloïdal permet de cumuler sur un seul arbre la puissance provenant de deux sources différentes (moteur électrique et moteur thermique). Ce système utilise également la force électromagnétique pour générer du courant tout en transmettant du couple avec un effet d'embrayage.
 - Montage hybride dissocié ou différencié : Un moteur électrique anime les roues arrières, et un moteur thermique (ou hybride dans certains cas) anime l'avant du véhicule
- Exemples de composants présents ou non en fonction de l'architecture :
 - Embrayage : non présent, simple, ou dual clutch (double embrayage -DCT)
 - Boîte de vitesse / Convertisseur de couple / Réducteurs : classiques et/ou de type épicycloïdal
 - Les sorties de moteur électrique qui tournent plus vite qu'un moteur thermique nécessitent une réduction des rapports : on utilise alors des trains épicycloïdaux. Ce sont des réducteurs à fort rapport de réduction/compact, qui adaptent les vitesses des différentes motorisations
 - Le train épicycloïdal se caractérise aussi par des sorties coaxiales, qui favorisent la compacité de l'architecture
 - Différentiel : technologie sans écart majeur avec un véhicule thermique
 - Capteurs / actionneurs : ajout de technologies propre au pilotage des moteurs électriques, celles-ci peuvent varier selon le cahier des charges et les autres contraintes d'architecture



Identifier et comprendre le rôle de chaque composant d'une chaîne électrique

Chapitre 3 Comment l'électrification des véhicules influence-t-elle les transmissions mécaniques ?

Evolutions liées à l'architecture des véhicules électrifiés :

- Un groupe motopropulseur électrique se décompose en 3 sous-ensembles :
 - Le moteur électrique : convertit l'énergie électrique en énergie mécanique pour mettre en mouvement le véhicule
 - L'électronique de puissance : transforme et transporte l'énergie stockée dans la batterie vers le moteur
 - La boîte de vitesses / le réducteur : généralement constitué d'un seul rapport
- Plus précisément, la chaîne de traction sera impactée des manières suivantes :
 - La puissance des moteurs électriques aura une influence sur le dimensionnement des transmissions, et va impacter le niveau de tension des véhicules – voir [parcours CMQ « Types de moteurs »](#)
 - Les moteurs à courant alternatif se sont imposés du fait de leur coût et de leurs performances
 - Les variateurs de vitesse intègrent un onduleur de tension triphasé pour la grande majorité
 - Dans un véhicule hybride, il faut veiller à une association harmonieuse du moteur et du variateur - gestion de la puissance et de l'énergie optimale
 - L'optimisation d'ensemble intègre le réducteur

Réversibilité d'une transmission

- Le moteur électrique est capable de fournir directement la rotation dans les deux sens tandis que le moteur thermique doit convertir le mouvement rectiligne des pistons en mouvement circulaire.
- Du fait du couple disponible dès les plus bas régimes moteur et sur une large plage de régimes de rotation du moteur électrique, les véhicules électriques se passent généralement de boîte de vitesses.
- Cette réversibilité amène une capacité de récupération d'énergie par le véhicule.

Principales différences des transmissions par rapport aux moteurs thermiques :

- Véhicules électriques : délivre un couple maximal dès le démarrage avec un seul rapport de transmission. Les transmissions mécaniques sont réduites à un simple réducteur.
- Véhicule Hybride : cela dépend de l'architecture et du niveau d'électrification :
 - Certains modèles utilisent un réducteur qui "simule" le comportement d'une boîte de vitesses à variation continue, en coordonnant le moteur à combustion et le moteur électrique.
 - D'autres ne disposent pas de boîte de vitesses car ce sont généralement les moteurs électriques qui poussent la voiture, alors que dans les quelques intervalles où le moteur à combustion interne intervient, il est directement relié à la transmission par un embrayage et sans qu'il soit nécessaire de varier le rapport



Comprendre comment l'électromobilité impacte la chaîne de transmission du véhicule

MODULE 2

Quels impacts de l'électrification des véhicules sur les nouvelles transmissions ?

- **Chapitre 1 : Quel nouveau rapport des transmissions mécaniques avec l'énergie ?**
- **Chapitre 2 : Quels sont les nouveaux risques et les nouvelles contraintes liés aux chaînes de transmission des véhicules électrifiés ?**
- **Chapitre 3 : Quels sont les impacts sur les véhicules industriels, utilitaires et off-road ?**

Et 3 niveaux d'apprentissage :

-  Sensibilisation
-  Approfondissement
-  Expertise

Chapitre 1 ●

Quel nouveau rapport des transmissions mécaniques avec l'énergie ?

- Le stockage d'énergie embarquée s'effectue via la batterie des véhicules électriques et via la batterie et le réservoir de carburant pour les véhicules hybrides.
Pour les véhicules électrifiés, le choix des transmissions mécaniques aura un impact sur l'autonomie du véhicule.
- La récupération d'énergie est liée à la décélération du véhicule, elle peut s'effectuer en freinage ou en roue-libre, et aura un impact sur le frottement du véhicule.
- La production d'énergie s'effectue lorsque le moteur électrique devient génératrice. Certains véhicules hybrides non rechargeables fonctionnent de cette façon, dans d'autres cas, un moteur thermique pourra fonctionner comme un groupe électrogène et alimenter la batterie.
En plus de servir pour l'assistance au freinage, cette production d'énergie peut aussi servir pour alimenter la batterie.



Connaitre les principes de stockage et de production d'énergie embarquée
Comprendre les conséquences techniques des impératifs de la récupération d'énergie

Chapitre 2 ●

Quels sont les nouveaux risques et les nouvelles contraintes liés aux chaînes de transmission des véhicules électrifiés ?

- Nouvelles contraintes :
 - Impacts sur les pneumatiques, suspensions - répartition des masses : le dimensionnement de la transmission sera impacté
 - Encombrement géométrique d'une transmission pour véhicule électrique et thermique - impact sur la conception et l'architecture mécanique et électrique électronique (EE) d'un véhicule : les joints de transmissions seront impactés selon l'encombrement des pièces du véhicule
 - Contraintes thermiques : liquides de refroidissement, huiles
 - Lubrification liée aux étages haute vitesse
 - Electronique de puissance – voir parcours CMQ « Electronique de puissance »

MODULE 2 Quels impacts de l'électrification des véhicules sur les nouvelles transmissions ?

- Matériaux, états de surfaces : contraintes liées à la minimisation des frottements, aura des impacts sur la consommation et l'autonomie du véhicule + contraintes liées à la masse des matériaux
 - Niveaux de vitesse des moteurs électriques et des divers éléments : passer d'une boîte de vitesse à 5 000 tours/min - avec une boîte 20 000 tours/min pour un véhicule électrique par exemple aura une influence sur les dimensionnements, notamment des contraintes d'équilibrage et de matériaux
 - Nouvelles normes environnementales : nouveaux lubrifiants et liquides posent des questions de recyclabilité
 - Contraintes vibratoires : fréquences différentes liées notamment à la vitesse de rotation, contraintes acoustiques
- Nouveaux risques, nouvelles défaillances :
 - Risques de passages de courant dans les éléments mécaniques, qui peuvent entraîner des défaillances (exemple : écaillage)
 - La disponibilité du couple à haute vitesse et les fréquences de rotations élevées peuvent entraîner des défaillances nouvelles
 - Evolution du ressenti utilisateur : de nouveaux phénomènes sonores et vibratoires, ressentis comme des défaillances
 - Risques liés à la chauffe et au refroidissement des composants électriques/électroniques



Connaitre et appréhender les conséquences liées à l'évolution des transmissions

Chapitre 3 **Quels impacts sur les véhicules industriels, utilitaires, et off-road ?**

- En ce qui concerne les véhicules industriels, utilitaires ou off-road, d'autres contraintes seront à prendre en compte pour les transmissions. Ces contraintes varient selon le type de véhicule et son usage (benne, camion frigorifique, etc.)
- Prises de mouvements selon les besoins :
 - Dépendante du moteur
 - Dépendante de l'embrayage
 - Dépendante de la vitesse de déplacement
 - Sécurité de conduite
 - Boîtes synchronisées
 - Ralentisseur
- Les systèmes ont tendance à devenir de plus en plus électrifiés, et les véhicules auront également plusieurs moteurs. Ces changements demandent une adaptabilité de la chaîne de transmission et de son pilotage.



Comprendre les enjeux spécifiques liés aux véhicules hors véhicules particuliers

MODULE 3

Comment choisir et modéliser une chaîne de transmission optimale ?

- **Chapitre 1 : Comment optimiser le choix de l'architecture ?**
- **Chapitre 2 : Comment modéliser une chaîne de transmission pour un véhicule électrifié ?**
- **Chapitre 3 : Comment l'évolution des transmissions impacte-t-elle l'intervention du technicien ?**

Et 3 niveaux d'apprentissage :

-  Sensibilisation
-  Approfondissement
-  Expertise

Chapitre 1 Comment optimiser le choix de l'architecture ?

- Optimiser le choix de l'architecture, c'est choisir la meilleure solution apportant le meilleur rendement par rapport au cahier de charges et à ses critères, tels que :
 - Volume de construction
 - Poids et dimension
 - Coûts
 - Prix d'achat
 - Maintenance
 - Réparation
 - Sécurité de fonctionnement
 - Fiabilité
 - Fonctionnement en cas d'incident
 - Durée de vie
 - Emission de bruits
 - Fonctionnement silencieux
 - Bruit lors du changement de rapport
 - Agrément de conduite
 - Autonomie
- Exemples d'exigences concernant la manipulation à prendre en compte spécifiquement dans le cadre des transmissions pour véhicules électrifiés :
 - Changements de rapports faciles
 - Déplacements du levier courts
 - Ergonomie
 - Schéma logique du changement de rapport
 - Fonctionnement logique (sans réflexion)
 - Compréhensible sans mode d'emploi
 - Adapté au moteur et à la fonction du véhicule
 - Nombre suffisant de rapports
 - Espacement régulier des rapports
- Il faudra prendre en compte les problématiques propres aux véhicules électriques et hybrides, et trouver le meilleur compromis par rapport aux attentes et aux contraintes.



Choisir la meilleure solution de transmission adaptée au cahier des charges

Chapitre 2 Comment modéliser une chaîne de transmission pour un véhicule électrifié ?

- Pour mesurer réellement des paramètres mécaniques de la chaîne de transmission, on suit le protocole suivant :
 - Mesure des paramètres : cinématiques, actions mécaniques, contraintes, déformations.
 - Comparaison avec les résultats de modélisation.
 - Adaptation du modèle.
- Le dimensionnement d'un train d'engrenages se fait selon les étapes suivantes :
 - Calculer un rapport de transmission ou de réduction :
 - Partir du CDC
 - Définir une denture (module, saillie, creux, diamètre primitif...) - prendre en compte les déports de denture
 - Expliquer les conditions d'engrènement (même module, cercles primitifs tangents...)
 - Définir un rapport de transmission
 - Rapport de transmission un seul étage.
 - Rapport transmission plusieurs étages -trains épicycloïdaux (formule de Willis)
 - Dimensionner la capacité des roues dentées - forme, matériaux, taille (dépend de la capacité des roues à supporter la puissance du couple)
- Les étapes des protocoles diffèrent peu des véhicules thermiques, les différences se feront au niveau des données.



Mesurer les paramètres mécaniques d'une chaîne de transmission
Dimensionner un train d'engrenages

Chapitre 3 Comment l'évolution des transmissions impacte-t-elle l'intervention du technicien ?

- Les nouvelles transmissions liées aux véhicules électrifiés auront un impact sur les pratiques liées notamment au Service Après-Vente et à la maintenance (démontage et entretien) :
 - Protocoles évolutifs
 - Consignations / déconsignations
 - Analyse des risques : nouveaux risques, points de levage, respects des distances, etc.
- L'intervention sur des véhicules de plus en plus électrifiés amène aussi des nouveaux besoins en compétences de la part du technicien. Des connaissances dans les domaines de l'électricité, l'électronique, l'étude des fluides, la thermique et la thermodynamique sont de plus en plus encouragées.
- De nouveaux enjeux de sécurité liés aux véhicules électrifiés émergent également :
 - Le technicien devra se familiariser avec des notions clés (exemple : CEM, ou compatibilité électromagnétique)
 - Des habilitations (exemple : B2VL) seront demandées pour des interventions haute tension



Comprendre l'impact des évolutions d'architecture sur les pratiques du technicien



Ce parcours a été réalisé avec le soutien du Programme d'investissement d'avenir

