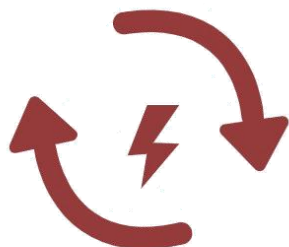


“



ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

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.

PRESENTATION

Le Campus des Métiers et des Qualifications Auto'Mobilités (Auvergne-Rhône-Alpes) est fier de vous partager cet e-book de formation sur le thème de l'électronique de puissance.

Co-créé par des professionnels de la pédagogie, des industriels, des chercheurs et des apprenants, ce livret propose différents modules reprenant les besoins en compétences clés lié au thème associé.

Chaque e-book propose :

1. Un panorama des objectifs pédagogiques reprenant les besoins du terrain
2. Un séquençement lisible en modules et en chapitres
3. Les savoirs clés essentiels pour chaque chapitre
4. Des suggestions de questions d'évaluation

Tout enseignant ou formateur peut exploiter et s'approprier les ressources de ce parcours pour son propre exercice.

Le campus met également à disposition des outils pédagogiques matériels et digitaux développés collaborativement.

N'hésitez pas à nous contacter pour obtenir les parcours développés sur d'autres thématiques, pour toute suggestion ou question sur les contenus et outils pédagogiques.

POUR + D'INFORMATIONS

Rendez-vous sur [le site internet du CMQ Auto'Mobilités](#)

Contactez le directeur opérationnel du campus : [M. BENECH David](#)

Table des matières




MODULE 1 - Pourquoi et comment gérer l'énergie électrique dans un véhicule ?	4
Chapitre 1 : Pourquoi gérer l'énergie électrique à bord des véhicules ?	5
Chapitre 2 : Quels sont les notions et constituants essentiels de l'électronique de puissance ?.....	6
MODULE 2 - Qu'est-ce que l'électronique de puissance ?	7
Chapitre 1 : Sur quels grands principes repose l'électronique de puissance ?	8
Chapitre 2 : Quels sont les différents types de convertisseurs de puissance ?.....	9
Chapitre 3 : Quels sont les enjeux liés aux nouvelles électroniques de puissance ?.....	9
MODULE 3 - Qu'apporte l'électronique de puissance pour l'électromobilité ?	11
Chapitre 1 : Quelles sont les spécificités de l'électronique de puissance liées au véhicule ?	12
Chapitre 2 : Comment ces spécificités impactent-elles différents éléments du véhicule ? .	13
Chapitre 3 : Comment intervenir sur l'électronique de puissance d'un véhicule électrique et hybride en toute sécurité ?	13
MODULE 4 : Comment concevoir et mettre en œuvre le convertisseur de puissance d'un véhicule ?	15
Chapitre 1 : Comment fonctionnent les convertisseurs de puissance pour les véhicules électrifiés ?.....	16
Chapitre 2 : Quelles sont les étapes et outils nécessaires pour concevoir un convertisseur ?.....	17
Chapitre 3 : Comment choisir et piloter les composants lors de la conception ?	17
Chapitre 4 : Quelles sont les étapes de mesure d'un convertisseur ?	18
EVALUATION DU PARCOURS – questions de QCM.....	19

MODULE 1

Pourquoi et comment gérer l'énergie électrique dans un véhicule ?

- **Chapitre 1 : Pourquoi gérer l'énergie électrique à bord des véhicules ?**
- **Chapitre 2 : Quels sont les notions et constituants essentiels de l'électronique de puissance ?**

Et 3 niveaux d'apprentissage :

-  Sensibilisation
-  Approfondissement
-  Expertise

Pourquoi et comment gérer l'énergie électrique dans un véhicule ?

Chapitre 1 ●

Pourquoi gérer l'énergie électrique à bord des véhicules ?

- La loi de transition énergétique implique des évolutions des réseaux électriques et de la mobilité. La conversion d'énergie est un élément clé de cette transformation. Cela entraîne une nécessité de faire appel à de nouvelles sources et systèmes de stockage d'énergie (batterie li-ion, Pile à combustible, etc.).
- Le vecteur énergétique central est l'électricité. L'électricité se stocke mal, mais se transforme et se module bien.
- La transformation et la modulation de l'énergie électrique est communément désignée par la conversion de puissance.
- Les technos de conversion de puissance et leurs évolutions ont des enjeux technologiques, économiques et sociaux
 - L'énergie à bord des véhicules sera de plus en plus électrique et la conversion de puissance transforme cette énergie pour les besoins : charger la batterie du véhicule depuis le réseau de distribution électrique, faire accélérer ou freiner le véhicule grâce à des moteurs électriques, alimenter les auxiliaires tels que l'ordinateur de bord, le chauffage, la clim, etc...
 - Il y a des enjeux forts de rendement (éviter les pertes pour gagner en autonomie), de masse (plus c'est lourd, plus il faut d'énergie embarquée), de compacité et de coût.
 - Il y a des enjeux économiques car la part de l'électronique de puissance dans la valeur d'un véhicule augmente (objectif de coût), et l'industrie française et européenne doivent être armées face à la concurrence asiatique (objectifs d'innovation et de performance)



Comprendre le contexte évolutif de la transformation d'énergie
Connaître les impacts de cette évolution

Pourquoi et comment gérer l'énergie électrique dans un véhicule ?

Chapitre 2 ●

Quels sont les notions et constituants essentiels de l'électronique de puissance ?

- L'électronique de puissance regroupe l'ensemble des technologies qui permettent de réaliser cette conversion d'énergie électrique et s'inscrit dans la structure de la chaîne d'énergie du véhicule.
- Il existe des notions clés de l'électronique de puissance liées à l'électromobilité :
 - Des notions liées l'électricité :
 - On différencie courant alternatif et courant continu
 - Tension et courant / puis tension et courant continue / puis tension et courant alternatif – monophasé, ou le + souvent triphasé
 - Puissance électrique
 - Charge /Décharge
 - Autres Notions importantes : gestion thermique, CEM (compatibilité électromagnétique) et sécurité (des usagers et des professionnels), fiabilité
- Il existe des constituants spécifiques liant électromobilité et électronique de puissance
- Les constituants essentiels qui des applications d'électronique de puissance sont des interrupteurs électroniques et des composants passifs magnétiques et capacitifs (inductances et condensateurs), tels que self et capacité
- Les principales applications de l'électronique de puissance dans un véhicule sont :
 - Chargeur/
 - Borne de recharge
 - Convertisseurs ; Le convertisseur permet de transformer d'alternatif vers continu (AC-DC), continu vers alternatif (DC-AC), continu vers continu (DC-DC)






Définir des notions clés de l'EDP liées à l'électromobilité
Comprendre les associations de sources

MODULE 2

Qu'est-ce que l'électronique de puissance ?

- **Chapitre 1 : Sur quels grands principes repose l'électronique de puissance ?**
- **Chapitre 2 : Quels sont les différents types de convertisseurs de puissance ?**
- **Chapitre 3 : Quels sont les enjeux liés aux nouvelles électroniques de puissance ?**

Et 3 niveaux d'apprentissage :

-  Sensibilisation
-  Approfondissement
-  Expertise

Qu'est-ce que l'électronique de puissance ?

Chapitre 1

Sur quels grands principes repose l'électronique de puissance ?

- Un convertisseur est constitué de plusieurs interrupteurs. En fonction du type de conversion d'énergie que l'on souhaite, on sélectionne différents types d'interrupteurs et de composants passifs, organisés dans une architecture électrique appelée topologie.
- Les interrupteurs mis en jeu dans les convertisseurs sont de type électronique et non mécanique. Les principaux sont les diodes (non commandés), les transistors (commandés), les thyristors (non commandés)
- Pour commander les interrupteurs, il est nécessaire de disposer d'un système de contrôle commande : Notion sur le contrôle commande du convertisseur - fonctionnement boucle ouverte - boucle fermée - asservissements analogiques et numériques
- En complément des interrupteurs (diode et transistors), les convertisseurs d'énergie mettent en jeu des composants passifs (inductances et condensateurs). Ils sont nécessaires pour lisser les tensions et les courants générés par les interrupteurs et ainsi assurer la continuité des courants
 - L'inductance est l'équivalent pour un convertisseur du volant d'inertie sur un moteur thermique, elle "lisse" le courant
 - Le condensateur est l'équivalent du réservoir d'eau/barrage, ou pot d'échappement, il "lisse" la tension
- C'est une électronique de commutation : elle tire parti du fait qu'un interrupteur parfait fermé (résistance nulle, tension aux bornes nulle) ou ouvert (résistance infinie, courant traversant nul) ne dissipe aucune énergie, donc ne présente aucune perte.



Définir l'électronique de puissance

Connaitre les interrupteurs et les composants passifs

MODULE 2

Qu'est-ce que l'électronique de puissance ?

Chapitre 2 ●

Quels sont les différents types de convertisseurs de puissance ?

- Il existe 4 types de conversion de l'énergie électrique, liées à 4 types de convertisseurs : redresseurs, hacheurs, onduleurs, gradateurs). Les différents types de convertisseurs d'énergie forment des chaînes d'énergie.
- Onduleur : DC/AC.
- Hacheur : DC/DC
- Redresseur : AC/DC
- Le gradateur est peu utilisé dans le cadre de l'électromobilité : source AC/AC, peu utilisée sur les véhicules



Comprendre les 4 types de conversion d'énergie des convertisseurs

Chapitre 3 ●

Quels sont les enjeux liés aux nouvelles électroniques de puissance ?

- Le développement des nouvelles électroniques de puissances a des impacts sur plusieurs éléments :
 - L'électronique de contrôle
 - La sûreté de fonctionnement
 - La CEM (Compatibilité électro-magnétique), par rayonnement, par émission et effet électrostatique
 - Les enjeux de fiabilité (contraintes, sources de panne...)
 - La gestion thermique
- L'enjeu principal est d'augmenter le rendement des convertisseurs de puissance par unité de masse et de volume en diminuant les pertes dans les composants de puissance et en augmentant les fréquences de commutation au sein des convertisseurs.

MODULE 2

Qu'est-ce que l'électronique de puissance ?

- Les ruptures apportées par les semiconducteurs dits Grand Gap doivent permettre d'augmenter d'un facteur 10 la densité de puissance des convertisseurs à horizon de 10 ans
- La fréquence de commutation des semiconducteurs, le rendement, le volume et le poids, et le respect des normes de sécurité et des normes liées à compatibilité électromagnétique sont des données importantes d'entrée de conception de l'électronique de puissance.
 - L'augmentation de la fréquence de commutation des semiconducteurs permet de diminuer la taille des composants surtout les éléments inductifs, mais cette augmentation augmente les pertes en commutation des semiconducteurs, et les pertes des éléments inductifs, et induit donc une perte de rendement.
 - La diminution des pertes permet la diminution de la taille de la mécanique, et donc du volume et du poids des produits.
 - L'augmentation de la fréquence de commutation des semiconducteurs génère en contrepartie plus de parasites de nature électromagnétiques.
- Certaines topologies dites à commutation douce permettent de générer moins de parasites de nature électromagnétiques, elles permettent en les associant avec les semiconducteurs dits Grand Gap, d'augmenter la densité de puissance.
- De façon générale, le dimensionnement d'un convertisseur de puissance est un compromis à trouver entre fréquence de commutation, rendement, volume, avec comme contraintes les normes de compatibilité électro-magnétique et les normes de sécurité.






Connaitre les différentes contraintes et défaillances liées à l'EDP
Comprendre les impacts des nouvelles EDP sur la gestion de l'énergie

MODULE 3

Qu'apporte l'électronique de puissance pour l'électromobilité ?

- **Chapitre 1 : Quelles sont les spécificités de l'électronique de puissance liées au véhicule ?**
- **Chapitre 2 : Comment ces spécificités impactent-elles différents éléments du véhicule ?**
- **Chapitre 3 : Comment intervenir sur l'électronique de puissance des véhicules électriques et hybrides en toute sécurité ?**

Et 3 niveaux d'apprentissage :

-  Sensibilisation
-  Approfondissement
-  Expertise

MODULE 3

Qu'apporte l'électronique de puissance pour l'électromobilité ?

Chapitre 1 ●

Quelles sont les spécificités de l'électronique de puissance liées au véhicule ?

- Il existe différents types d'énergie (mécanique, électrique, courant continu, triphasé...) pour un véhicule électrifié. Ces éléments varient selon si l'électrification est totale ou partielle (électrique ou hybride).
- Dans un véhicule électrique et hybride, les méthodes de transmissions et d'alimentation sont différentes que dans un véhicule thermique.
- L'objectif est d'alimenter un moteur électrique et les auxiliaires du véhicule à partir de la batterie du véhicule. Il faut donc transformer un courant continu de tension élevée vers des sources continues de plus basse tension et un moteur via un onduleur qui transforme l'onde continue en ondes sinusoïdales.
- La batterie du véhicule est rechargée via un chargeur embarqué via le réseau électrique alternatif
- L'alimentation de l'onduleur peut aussi s'effectuer par une batterie et la recharge de la batterie par frein moteur
- On trouve aussi de l'électronique de puissance dans les infrastructures de recharge, par exemple :
 - L'alimentation par la prise électrique (ex : charge résidentielle).
 - Bornes de recharge dans les infrastructures urbaines/routières
 - Infrastructures spécifiques déportées liées à la charge rapide



**Connaître les adaptations de l'EDP et les spécificités liées aux VE/VH.
Identifier les différents types d'énergie et méthodes de transmissions dans un VE/VH**

MODULE 3

Qu'apporte l'électronique de puissance pour l'électromobilité ?

Chapitre 2 ●

Comment ces spécificités impactent-elles différents éléments du véhicule ?

- Les nouvelles électroniques de puissance influent sur l'architecture qui doit être adaptée aux véhicules électrifiés : Il est essentiel de définir une architecture de schéma électrique adaptée - choix de la tension (de 48V à 800V)
- Elles entraînent également des enjeux thermiques, liés au refroidissement de l'électronique de puissance.
- L'augmentation de la densité de puissance convertie par unité de masse et volume dans un véhicule électrique aura un impact sur les composants, la thermique, la CEM (Compatibilité Electro-Magnétique), etc.
- L'électronique de puissance évolue aussi pour les bornes de recharge pour véhicules électriques : différents types et standards, problématique de la charge rapide-ultra rapide, enjeux de sécurité...



Comprendre les répercussions des spécificités liées à l'électromobilité

Comprendre les enjeux d'architecture et de gestion de l'énergie

Chapitre 3 ●

Comment intervenir sur l'électronique de puissance des véhicules électriques et hybrides en toute sécurité ?

- Les règles de sécurité se spécifient pour l'intervention sur un véhicule électrique. Pour l'électronique de puissance, on notera les règles liées à la haute tension et aux dangers associés.

MODULE 3

Qu'apporte l'électronique de puissance pour l'électromobilité ?

- Des habilitations électriques sont nécessaires pour intervenir : La NF C18-510 a évolué pour tenir compte des interventions sur les véhicules électriques, et des indices spéciaux ont été créés, par exemples : titres B1VL et B2VL
- Pour intervenir sur l'électronique de puissance, il faudra par exemple être vigilant sur la tension d'isolement, et le respect des distances.
- Un équipement spécifique est nécessaire pour intervenir : EPI (Equipement de protection individuel) et protections collectives (balisages...)



Comprendre les évolutions de normes de sécurité




Connaitre les bonnes pratiques et règles de sécurité nécessaires

MODULE 4

Comment concevoir et mettre en œuvre le convertisseur de puissance d'un véhicule ?

- **Chapitre 1 : Comment fonctionnent les convertisseurs de puissance pour le véhicule électrique et hybride ?**
- **Chapitre 2 : Quelles sont les étapes et outils nécessaires pour concevoir un convertisseur ?**
- **Chapitre 3 : Comment choisir et piloter les composants lors de la conception ?**
- **Chapitre 4 : Quelles sont les étapes de mesure d'un convertisseur ?**

Et 3 niveaux d'apprentissage :

-  Sensibilisation
-  Approfondissement
-  Expertise

MODULE 4

Comment concevoir et mettre en œuvre le convertisseur de puissance d'un véhicule ?

Chapitre 1 ●

Comment fonctionnent les convertisseurs de puissance pour les véhicules électrifiés ?

- Il est essentiel de comprendre et respecter les associations de source (tension et courant).
- Les différents types de convertisseurs présents dans le véhicule ont différents fonctionnements/cas d'usage :
 - Redresseurs : monophasé, triphasé
 - Hacheurs, dont il existe différents types :
 - Dévolteur ou abaisseur : la tension de sortie est inférieure à la tension d'entrée
 - Survolteur ou élévateur : la tension d'entrée est inférieure à la tension de sortie
 - Certains hacheurs peuvent aussi fonctionner des deux façons
 - Onduleurs : il permet d'alimenter les systèmes électromécaniques les machines synchrones et asynchrones
- Le convertisseur dans sa chaîne d'énergie peut parfois avoir un fonctionnement réversible, ce qui permet de minimiser les pertes (par exemple AC/DC ou DC/AC).
- Les convertisseurs sont caractérisés par un rendement de conversion, qui doit être le plus élevé possible, pour éviter les pertes par dissipation thermique.
- On représente le fonctionnement du convertisseur en représentant dans le temps la courbe d'évolution des courants et tensions en différents points



Décrire le fonctionnement et les types de convertisseurs présents dans le véhicule

Caractériser les tensions/ courants

MODULE 4

Comment concevoir et mettre en œuvre le convertisseur de puissance d'un véhicule ?

Chapitre 2 ●

Quelles sont les étapes et outils nécessaires pour concevoir un convertisseur ?

- Les étapes élémentaires de la conception d'un convertisseur de puissance sont :
 - Choix de la topologie, simulation par logiciel, génération de schéma
 - Choix et dimensionnement des composants
 - Gestion thermique du convertisseur (dissipateur, refroidisseur à eau, à air...)
 - Mise en œuvre des drivers, des optocoupleurs, du contrôle commande du convertisseur
 - Conception des circuits de mesure de tension et courant isolés
 - Routage de la carte, implantation des composants en respectant les règles de CEM



Connaitre les étapes élémentaires de la conception

Savoir qu'il existe plusieurs outils et types de simulations

Chapitre 3 ●

Comment choisir et piloter les composants lors de la conception ?

- On différencie plusieurs types de composants
 - De puissance actifs et passifs
 - Composants pour le filtrage
 - Capteurs et électronique de contrôle commande

MODULE 4

Comment concevoir et mettre en œuvre le convertisseur de puissance d'un véhicule ?

- Le choix des différents composants (interrupteurs, inductances/magnétiques, capacités) s'opère en prenant en compte les tensions et les courants. Ils sont décrits par un ensemble de spécifications appelé datasheet.
- Ces choix sont aussi soumis à des critères et contraintes présents dans le cahier des charges (CEM, thermique, coûts, dimensions, règles d'assemblages mécaniques, connexions électriques...)
- Le pilotage des interrupteurs de puissance est généralement réalisé au travers d'une électronique de contrôle (drivers), qui permet d'ouvrir et fermer ces interrupteurs selon un séquençage déterminé au préalable lors de la conception



Identifier, choisir et piloter les composants

Chapitre 4 ●

Quelles sont les étapes de mesure d'un convertisseur ?

- Les différentes étapes de mesure sont :
 - Identification des points de mesures à partir des documents constructeurs du convertisseur
 - Par exemple : Une mesure essentielle pour la conception du convertisseur : mesurer U et I au sein d'un convertisseur
 - Mise en œuvre de la mesure
 - Choix des appareils de mesures, des moyens (capteurs de tension, courant, température)
 - Réglage des calibres
 - Réalisation d'un protocole expérimental
 - Règles de sécurité
 - Analyse des mesures et des résultats obtenus.



Connaitre les étapes et outils de mesure du convertisseur

EVALUATION DU PARCOURS

Retrouvez ci-dessous des exemples de questions de QCM à réutiliser sur cette thématique

1. Quels sont les principaux interrupteurs mis en jeu dans les convertisseurs électronique :
 - les diodes
 - les transistors
 - les thyristors
 - les inductances
 - les résistances
 - les condensateurs
2. L'inductance permet de "lisser" ?
 - le courant
 - la tension
3. Le condensateur permet de "lisser" ?
 - Le courant
 - La tension
4. Parmi les éléments suivants, quels sont ceux qui permet de convertir l'énergie électrique ?
 - Onduleur
 - Hacheur
 - Redresseur
 - Gradateur
 - Mixeur
 - Bipeur
 - Tenseur
5. Un onduleur permet de convertir :
 - Un courant alternatif en courant continu
 - Un courant continu en courant alternatif
 - Un courant continu en courant continu
 - Un courant alternatif en courant alternatif

6. Un hacheur permet de convertir :
 - Un courant alternatif en courant continu
 - Un courant continu en courant alternatif
 - Un courant continu en courant continu
 - Un courant alternatif en courant alternatif

7. Un redresseur permet de convertir :
 - Un courant alternatif en courant continu
 - Un courant continu en courant alternatif
 - Un courant continu en courant continu
 - Un courant alternatif en courant alternatif

8. L'augmentation de la fréquence de commutation des semiconducteurs induit :
 - Une diminution de la taille des éléments inductifs
 - Une augmentation des pertes
 - Une augmentation des parasites électromagnétiques
 - Une augmentation de la taille des éléments inductifs
 - Une diminution des pertes

9. Les machines électriques les plus souvent utilisées aujourd'hui en traction automobile sont de type :
 - Machine asynchrone à cage d'écureuil
 - Machine à reluctance variable
 - Machine synchrone à aimant permanent
 - Machine à courant continu

10. La variation de vitesse d'une machine synchrone à aimant permanent utilise généralement :
 - Un onduleur triphasé
 - Un pont redresseur à diode
 - Un hacheur 4 quadrants
 - Un cyclo-convertisseur



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

