



EDEC Automobile

Avril 2021

Rapport complet

ÉTUDE PROSPECTIVE PORTANT SUR L'EMPLOI ET LES MÉTIERS DE
L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE, DANS LE CADRE DU DÉVELOPPEMENT DE
L'ÉLECTROMOBILITÉ AUTOMOBILE



- 1 MÉTHODE ET OBJECTIF
- 2 L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ AUTOMOBILE
- 3 LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE
- 4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION
- 5 ÉLABORATION DE PISTES D'ACTION

MÉTHODE ET OBJECTIF

OBJECTIFS

- Faire un état des lieux des données et tendances en matière d'emploi selon les catégories de métiers et les perspectives de développement du marché et des structures
- Donner de la visibilité au niveau du volume global d'embauche, de réorientations professionnelles du fait des mix énergétiques notamment dans la filière automobile
- Proposer une analyse des compétences attendues par les entreprises sur l'ensemble des métiers de la filière à 3, 5 et 10 ans
- Recenser et évaluer les offres initiales et continues de formation actuelle et son développement prévisionnel sur 3 à 5 ans

MOYENS

-  Une analyse documentaire large
-  35 entretiens avec des acteurs des filières électroniques et automobiles et de la formation
-  Un questionnaire en ligne
-  Recensement des formations initiales et continues
-  Un groupe de travail avec des professionnels des filières
-  Le soutien du comité de pilotage

LIVRABLES

-  Un rapport complet et détaillé
-  Une synthèse communicante
-  Une cartographie des formations en ligne
-  Un cahier de recommandations et d'orientations en matière d'emploi et de compétences

MÉTHODE ET OBJECTIF

Point d'avancement

Réalisé sur la période

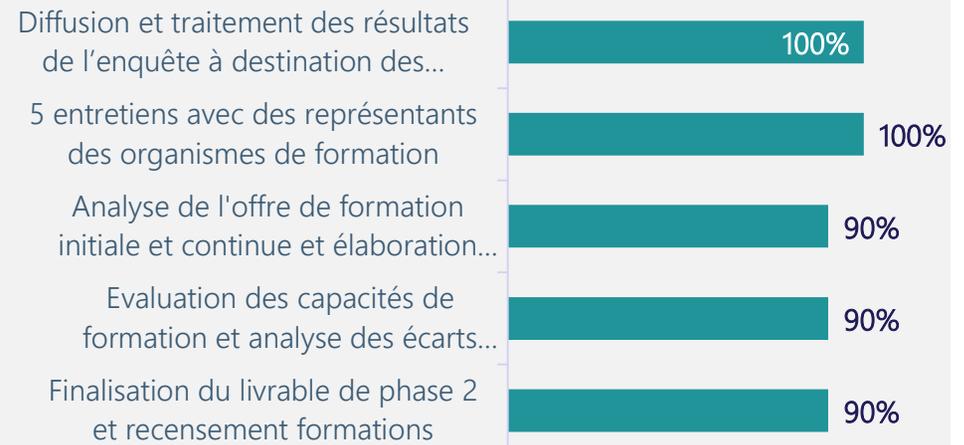
- Mise à jour de l'évaluation des besoins en métiers dans l'électronique
- Recensement de l'offre de formation initiale et continue
- Analyse de l'offre de formation initiale et continue
- Diffusion et traitement du questionnaire
- Benchmark international (emploi et formation)
- 19 entretiens réalisés

Reste à faire

- Réalisation de la cartographie interactive de l'offre de formation

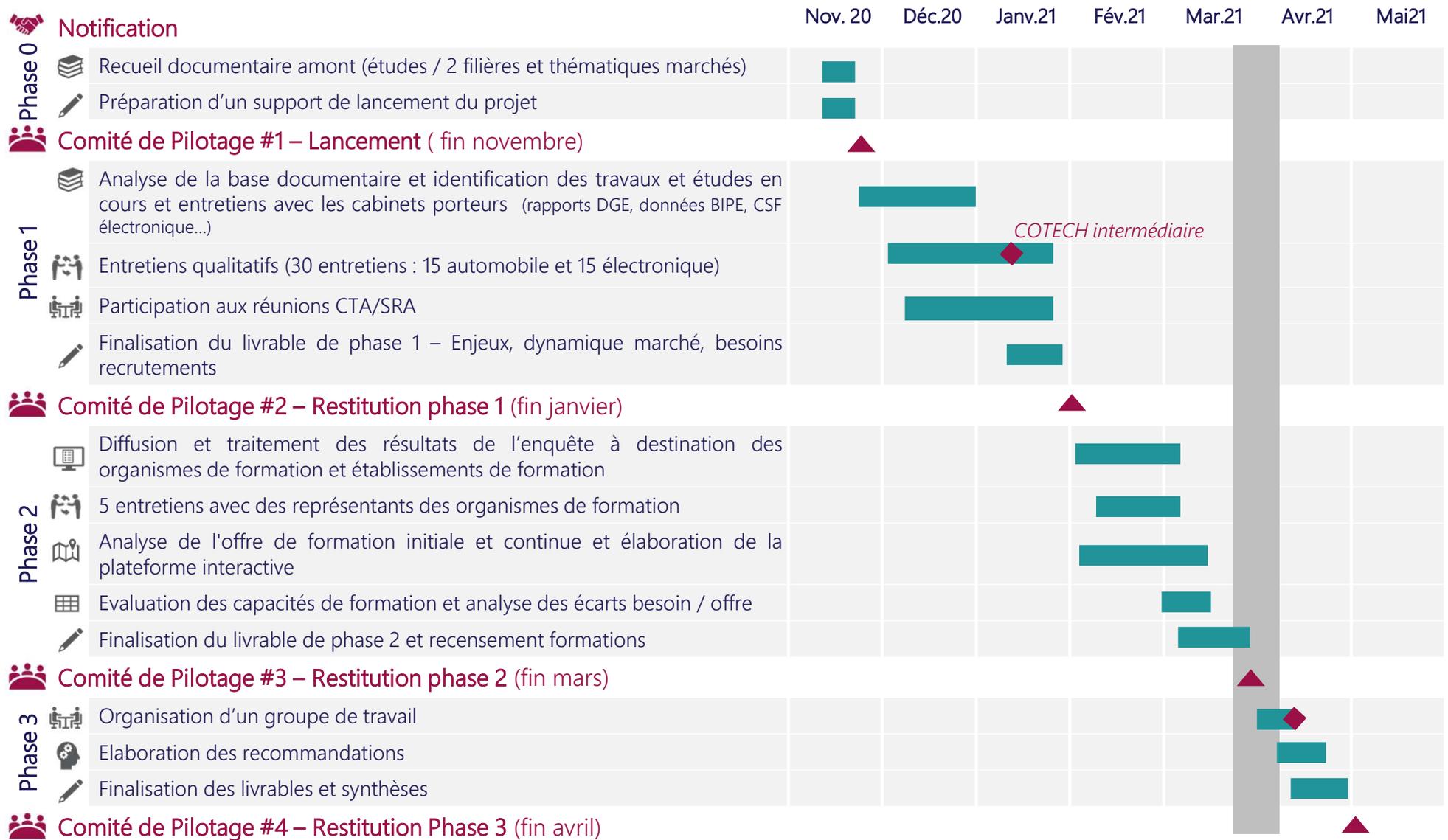
Modalités de travail de phase 1

Avancement



MÉTHODE ET OBJECTIF

Planning prévisionnel détaillé



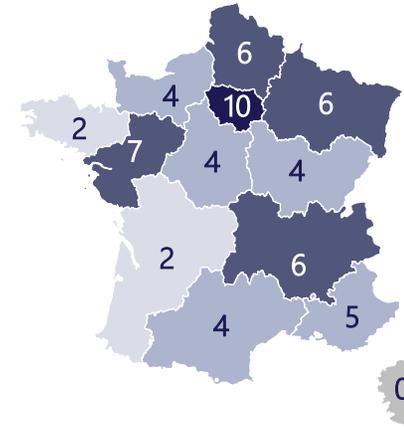
MÉTHODE ET OBJECTIF

Une centaine de répondants au questionnaire en ligne



Dont 51 disposant d'une offre de formation en lien avec les sujets d'électronique de puissance ou d'électromobilité

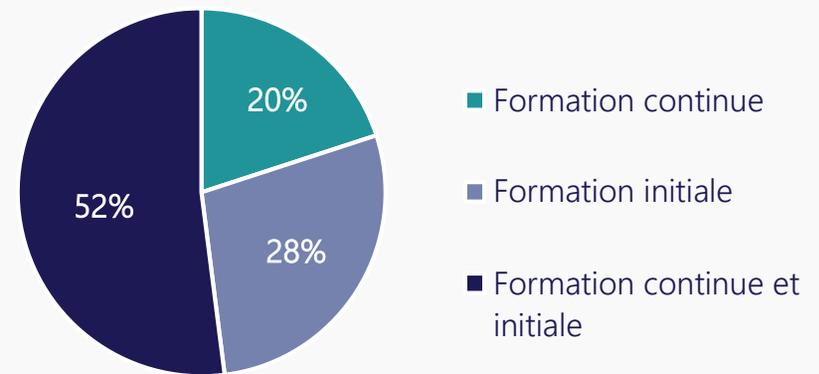
Position géographique des établissements et organismes de formation interrogés



Le profil des répondants interrogés

- Directeurs/directrices de département
 - Responsables pédagogiques
 - Dirigeants/dirigeantes
- Directeurs/directrices des relations industrielles
 - Commerciaux/commerciales
- Enseignants/enseignantes chercheurs

Le positionnement des organismes de formation interrogés



- 
- 1 MÉTHODE ET OBJECTIF
 - 2 L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ AUTOMOBILE
 - 3 LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE
 - 4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION
 - 5 ÉLABORATION DE PISTES D'ACTION



2

L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ AUTOMOBILE

- a. L'électronique de puissance et les acteurs engagés dans l'électromobilité*
- b. L'évolution de l'électromobilité en France*
- c. Les évolutions et enjeux technologiques*

L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE ET LES ACTEURS ENGAGÉS DANS L'ÉLECTROMOBILITÉ

Un domaine technologique stratégique dans l'électrification et l'hybridation des véhicules

L'électronique de puissance : un domaine spécifique de l'électronique

- L'électronique de puissance – aussi appelée *électronique de conversion* – est un domaine de l'électronique qui permet de convertir des puissances électriques élevées (forme alternative ou continue et niveau de tension du courant électrique) et de transférer le courant d'un circuit à un autre.
- D'un point de vue industriel, l'électronique de puissance comprend ainsi la **conception**, la **production** et la **maintenance** de **convertisseurs**, de **leurs composants électroniques**, de **leurs systèmes de commande** et de **leurs applications industrielles**.

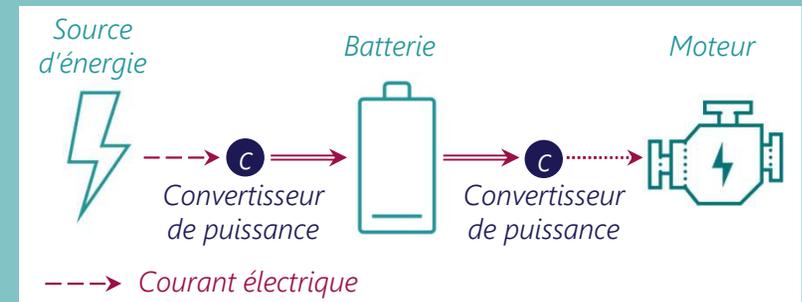
Un domaine qui prend une nouvelle dimension avec l'électrification des véhicules automobiles

- Les équipements des véhicules hybrides ou électriques fonctionnent à partir de courants électriques de forme (courant alternatif AC ou continu DC) et de niveaux de tension différents (48V, 200V, 400V, 800V).
- L'électronique de puissance est ainsi **essentielle** pour **calculer**, **convertir** et **délivrer l'énergie électrique** dont chaque équipement du véhicule a besoin pour fonctionner.
- Avec la batterie, les technologies et dispositifs de puissance deviennent des **éléments particulièrement stratégiques et différenciant pour les constructeurs automobiles** compte tenu de son rôle clef dans le fonctionnement des véhicules électrifiés.

DÉFINITION

L'électronique de puissance désigne le domaine de l'électrotechnique qui vise à traiter, convertir et commuter des puissances électriques élevées.

RÔLE DE L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE*



*schéma simplifié ne respectant pas les nomenclatures techniques

L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE ET LES ACTEURS ENGAGÉS DANS L'ÉLECTROMOBILITÉ

Les systèmes et applications de l'électronique de puissance dans les véhicules automobiles

4 dispositifs clefs dans les systèmes d'électronique de puissance

3 dispositifs sont présents dans l'ensemble des véhicules électrifiés, quel que soit leur type (HEV, mHEV, BEV, PHEV*) :

- **Le boîtier d'interconnexion** : distribue l'énergie électrique aux différents équipements du véhicule (batterie, moteur, équipements électroniques...) en fonction leurs besoins et de l'état du véhicule (charge, accélération, décélération) ;
- **Le convertisseur DC/DC** : augmente ou diminue le niveau de tension du courant continu en fonction des besoins des équipements ;
- **Le convertisseur onduleur** : transforme le courant continu issu de la batterie en courant alternatif nécessaire au fonctionnement du moteur ;

1 dispositif est présent uniquement dans les véhicules rechargeables (de type BEV et PHEV) :

- **Le chargeur** : transforme le courant alternatif de la source de recharge en courant continu supporté par la batterie.

Les différentes puissances nécessaires des dispositifs de puissance en fonction du niveau de tension des équipements

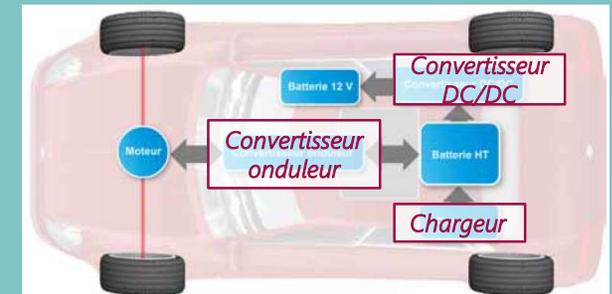
- Pour alimenter une batterie de 48V/400V/800V à partir d'une prise électrique standard (230V, 50Hz), un **chargeur de 3,5kW à 22kW** est requis ;
- Pour alimenter les équipements secondaires du véhicule (12V ou 48V pour la radio, l'éclairage...) à partir d'une batterie de 48V/400V/800V) un **convertisseur DC/DC de 2-3,5kW** est nécessaire ;
- Pour alimenter le système de traction du véhicule (400V/800V) à partir d'une batterie de 200V/400V, un **convertisseur DC/DC de 30-100kW** est requis ;
- Pour alimenter le moteur fonctionnant en courant alternatif à partir d'une batterie de 48V/400V/800V un **onduleur DC/AC de 15-80-150kW** est requis.

*voir glossaire p. xx

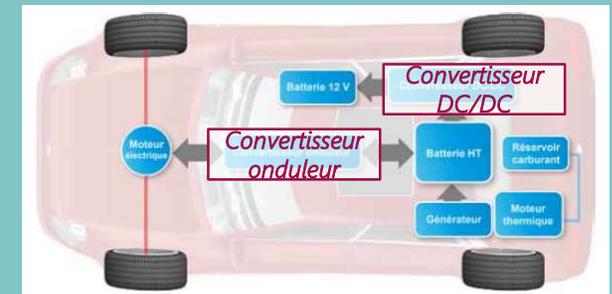
LES SYSTÈMES D'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE SELON LES TYPES DE VÉHICULE

Source : ANFA, 2011

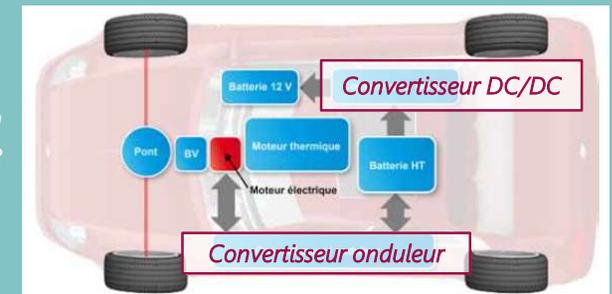
Synoptique
d'un véhicule
électrique



Synoptique
d'un véhicule
hybride série



Synoptique d'un
véhicule hybride
parallèle



L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE ET LES ACTEURS ENGAGÉS DANS L'ÉLECTROMOBILITÉ

Les composants électroniques mobilisés dans l'électronique de puissance

Des convertisseurs composés de différents éléments électroniques

Les modules de puissance regroupent :

- **Les puces semi-conductrices** qui peuvent être des composants actifs en silicium (Si) ou des composants à carbure de silicium tels que les diodes, les transistors MOSFET et les transistors IGBT.
- **Le substrat** interconnecte les composants électroniques entre eux tout en assurant leur tenue mécanique et leur isolation thermique. Celui-ci peut être à base de matériaux céramiques, de cuivre ou encore d'aluminium.
- **Les brasures** relient et solidarisent thermiquement et électriquement la puce au substrat. Celles-ci sont réalisées par soudage ou frittage.
- **La connectique – bonding –** assure le passage du courant électrique. Elle peut prendre la forme de fil, de ruban ou encore à bille en cuivre, en aluminium ou en colaminé.
- **La semelle**, composée de matériaux essentiellement métalliques (cuivre, aluminium...) permet l'évacuation de la chaleur du module.
- **L'encapsulant** isole le module de son environnement et est composé de gel silicone ou de résine époxy.
- **Le boîtier –** ou packaging, composé de plastique ou de céramique, assure la connexion, l'isolation, la protection et la gestion thermique des composants électriques du module

De fortes contraintes liées aux spécificités du domaine automobile

Le domaine de l'automobile soumet les dispositifs de puissance à des contraintes importantes auxquels doivent répondre les éléments précités :

- Des **contraintes économiques** liées aux exigences de rendement de l'industrie automobile
- Des **contraintes de compacité et de poids**
- Des **contraintes mécaniques** liées aux fortes vibrations des véhicules
- Des **contraintes thermiques** liées aux amplitudes thermiques et aux cycles thermiques répétitifs

EXEMPLE D'ASSEMBLAGE D'UN MODULE DE PUISSANCE

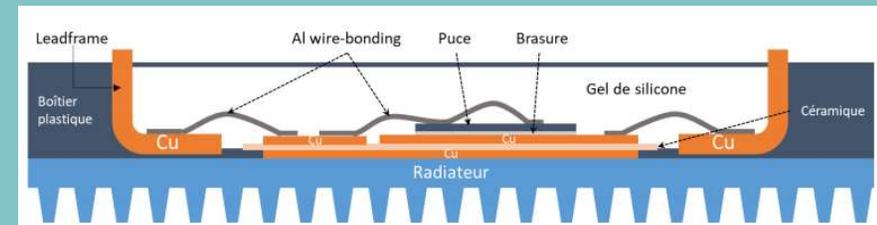


Fig. 1-6 Exemple d'assemblage IML (haut) et DBC ou Direct Bond Copper (bas) de VALEO

NIVEAUX DE PUISSANCE ET COMPOSANTS EN FONCTION DU TYPE DE VÉHICULE

Systèmes	Mild-Hybrid	Full Hybrid	Plug-in Hybrid	Voiture électrique
Convertisseur DC/DC	MOSFET 1,5 à 3kW			
Onduleur DC/AC	MOSFET 1,5 à 3kW	IGBT – 1,5 à 3kw		
Générateur	X	IGBT – 1,5 à 3kw		X
Chargeur	X	X	MOSFET – 1,5 à 3kW IGBT – 10 à 20kW	

Source : William Sanfin, *Caractérisation et modélisation de modules de puissance « fail-to-short » pour convertisseurs sécurisés à tolérance de pannes. Application véhicule électrique hybride*, 2017.

L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE ET LES ACTEURS ENGAGÉS DANS L'ÉLECTROMOBILITÉ

Un domaine technologique mobilisant de multiples acteurs de l'électromobilité automobile

L'électronique de puissance et son développement dans l'électromobilité automobile mobilisent trois filières économiques.

La filière électronique composée de fabricants de composants, de distributeurs, de bureaux d'études et de sous-traitants

- Les **fabricants de composants** produisent les éléments requis pour la production de modules de puissance.
- Les **distributeurs et représentants** mettent en relation les fabricants de composants électroniques et les sous-traitants ou donneurs d'ordres.
- Les **sous-traitants électroniques** réalisent les opérations liées à la fabrication d'un circuit imprimé.
- Les **bureaux d'études** conçoivent les cartes système, ensembles et sous-ensemble électroniques.

La filière automobile composée d'acteurs industriels et d'acteurs des services et commerces automobiles

- Parmi les **industriels automobiles** se trouvent les **équipementiers** et les **constructeurs**. Les premiers fabriquent les produits intégrant de l'électronique de puissance (ils conçoivent et produisent ces éléments ou délèguent ces activités à un bureau d'études et/ou à un sous-traitant). Les seconds construisent les véhicules intégrant des équipements contenant les dispositifs de puissance.
- En **aval de la filière** se trouvent les **acteurs de services et de commerce** de l'automobile en charge de la vente et de la maintenance des véhicules.

La filière des infrastructures de recharge

La filière des infrastructures se compose des **constructeurs et des exploitants des bornes de recharge**. Si certains constructeurs automobiles intègrent ces activités (ex. : Tesla), d'autres sont spécialisés dans la construction et l'exploitation des stations.

3 FILIÈRES ÉCONOMIQUES IMPLIQUÉES DANS L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU SEIN DE L'ÉLECTROMOBILITÉ AUTOMOBILE

FILIÈRE ÉLECTRONIQUE



Fabricants de composants

Distributeurs et représentants

Sous-traitants, bureaux d'études

FILIÈRE AUTOMOBILE



Équipementiers

Constructeurs

Services et commerce

FILIÈRE INFRASTRUCTURES



Constructeurs de stations de recharge

Exploitants de stations de recharge



2

L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ AUTOMOBILE

- a. L'électronique de puissance et les acteurs engagés dans l'électromobilité*
- b. L'évolution de l'électromobilité en France*
- c. Les évolutions et enjeux technologiques*

L'ÉVOLUTION DE L'ÉLECTROMOBILITÉ EN FRANCE

Un développement de l'électromobilité qui devrait tirer les besoins en électronique de puissance

100%

Des véhicules automobiles mobiliseront de l'électronique de puissance en 2030 du fait de leur électrification/hybridation

2,5
milliards €

De CA liés à l'électronique de puissance visés par l'industrie automobile en 2030

2
millions

De bornes de recharge en 2030 pour un marché de 1,3 milliard d'euros

8,5
millions

De véhicules électrifiés à entretenir en 2030 (~17% du parc automobile)

Avec le développement de l'électromobilité, l'électronique de puissance concernera l'ensemble des acteurs de la mobilité automobile.

- Dans **l'industrie automobile**, l'évolution vers les véhicules électriques et hybrides devrait multiplier par 7 le marché de l'électronique de puissance
- Les plus de 2 millions de **bornes de recharge** déployées en France en 2030 mobiliseront également de l'électronique de puissance
- L'inertie du parc automobile et de la diminution du nombre d'heures d'entretien requises par les véhicules électrifiés limiteront les besoins en électronique de puissance dans **le secteur automobile aval**
- L'industrie automobile pourrait devenir le premier marché de **l'électronique de puissance** en France (2,5 milliards sur 9,5 milliards en 2025).

L'ÉVOLUTION DE L'ÉLECTROMOBILITÉ EN FRANCE

Construction automobile

L'électronique de puissance, un marché français de 2,5 milliards d'euros dans l'industrie automobile à horizon 2030

- Compte tenu des **réglementations européennes**, les émissions de CO2 des voitures neuves immatriculées dans l'Union européenne devront diminuer de 15% à partir de 2025 et de 37,5% à partir de 2030 par rapport au niveau de 2021 (31% pour les véhicules utilitaires légers).
- Cette réglementation **devrait favoriser la vente des véhicules hybrides HEV** dans un premier temps (~1,1 million d'immatriculations en 2025) puis **des véhicules hybrides rechargeables et des véhicules électriques** (respectivement ~540 000 et 910 000 immatriculations en 2030). Du fait de cette hausse des ventes des véhicules électrifiés, la **valeur de l'électronique de puissance** devrait ainsi passer de **110€ à 670€ en moyenne par véhicule en 2030** (source PFA, 2020).
- Cette dynamique devrait **multiplier par 7 le marché de l'électronique de puissance dans l'industrie automobile** pour atteindre 10,5 milliards d'euros en Europe et 2,5 milliards en France en 2030.

Un marché progressivement dominé par les véhicules fonctionnant à des niveaux de tension élevés

- Alors qu'ils devraient représenter 70% des immatriculations des véhicules mobilisant de l'électronique de puissance en 2025, les **véhicules hybrides légers** fonctionnant sur des **tensions de 48V** ne devraient représenter que **30% de ces véhicules en 2035**.
- À l'inverse, les **véhicules automobiles** fonctionnant à des **niveaux de tension supérieurs** (entre 200 et 400V voir plus de 400V) devraient **représenter 70% des immatriculations en 2035** tirés par les véhicules hybrides rechargeables et les véhicules électriques.

Évolution de la valeur de l'électronique de puissance dans l'industrie automobile

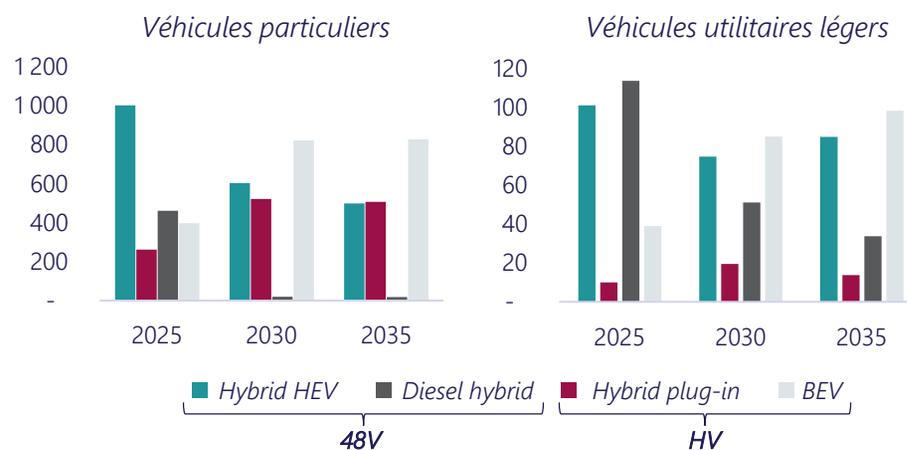
Source : PFA, 2020

	Valeur moyenne par véhicule	Chiffre d'affaires Europe (en milliard d'€)	Chiffre d'affaires France (en milliard d'€)
2020	110€	1,6 Md€	/
2030	670€	10,5 Mds€	2,5 Mds€

Objectif affiché

Évolution des immatriculations des véhicules mobilisant de l'électronique de puissance en France

Source : PFA, 2018 (en milliers de véhicules)



L'ÉVOLUTION DE L'ÉLECTROMOBILITÉ EN FRANCE

Bornes de recharge

Plus de 2 millions de bornes de recharges en 2030 pour un marché estimé à 1,1 milliard d'euros en France

- Alors qu'en 2022 la France pourrait compter plus de 800 000 bornes de recharge, ce nombre pourrait être multiplié par 2,6 et atteindre ainsi **2,1 millions de bornes en 2030**.
- De manière parallèle, le **marché des bornes** de recharge en France devrait être multiplié par 2,7 entre 2022 et 2030 pour s'établir à **plus d'1 milliard d'euros**.

Un marché majoritairement tourné vers les recharges dites normales

- Parmi les bornes de recharge, on distingue les recharges normales (de 3,7 kW à 22 kW) et les recharges rapides (au-delà de 22kW) (source : Décret n° 2017-26 du 12 janvier 2017 relatif aux infrastructures de recharge pour véhicules électriques).
- Les premières devraient concentrer près de 99% du marché des bornes de recharges en 2030.

Les standards de prise pour les bornes de recharge

Recharge normale :

- À l'exception des bornes privées de puissance inférieure ou égale à 3,7 kW pour lesquelles une prise domestique est suffisante, la prise standard est la prise de type 2

Recharge rapide :

- Jusqu'en 2024 les bornes doivent être équipées d'un câble pour courant alternatif avec connecteur de type 2, un câble pour courant continu avec connecteur de type CHAdeMO et un câble pour courant continu avec connecteur de type Combo2

Évolution du nombre de bornes de recharge et du marché correspondant par type d'infrastructure

Source : CODA Stratégie, DGE, ADEME, 2019

	2022		2025		2030		
	Nombre (milliers)	Marché (millions d'€)	Nombre (milliers)	Marché (millions d'€)	Nombre (milliers)	Marché (millions d'€)	
Recharge normale	Domicile maison individuelle	422	99	1112	173	2012	139
	Domicile logement collectif	204	143	586	250	1541	381
	Entreprise	75	64	227	146	595	207
	À la demande	97	100	273	223	945	397
Recharge rapide	Hubs urbains	0,45	3	1,55	4	2,11	4
	Etablissement recevant du public	0,74	3	2,4	4	2,49	4
	Réseau routier	1,8	5	3,6	12	4,2	0
Total	801	417	2 206	812	2 102	1 132	

L'ÉVOLUTION DE L'ÉLECTROMOBILITÉ EN FRANCE

Maintenance des véhicules automobiles

Une inertie importante du parc automobile limitant le poids de l'électromobilité

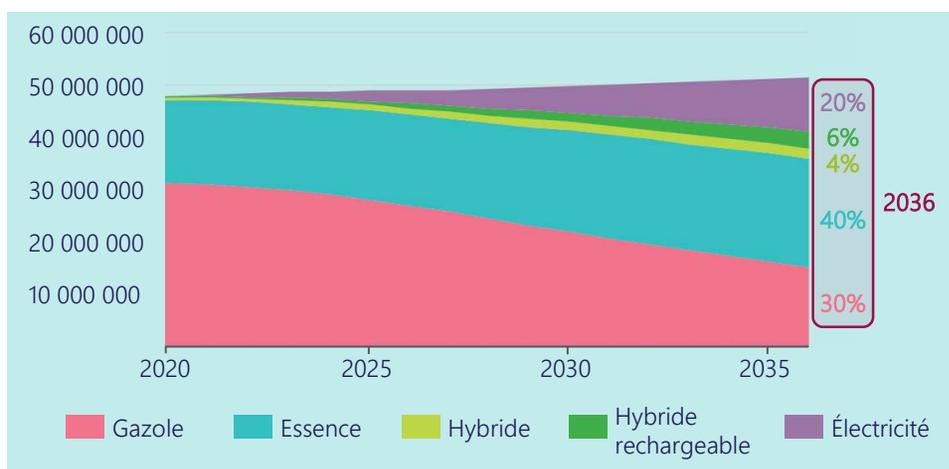
- Le secteur du commerce et des services automobiles est davantage influencé par l'évolution de la structure du parc automobile que par l'évolution des immatriculations.
- Or, **l'électrification des véhicules a un impact limité sur le parc automobile du fait de sa relative inertie** (taille et âge des véhicules). Ainsi en 2036 seul un tiers des véhicules seront électrifiés et 26% (véhicules hybrides rechargeables et véhicules électriques) mobiliseront de manière importante de l'électronique de puissance.

Des besoins en maintenance plus limités sur les véhicules électrifiés excluant les interventions sur les modules de puissance

- Outre l'inertie du parc limitant les besoins en électronique de puissance, **l'électrification des véhicules entraîne une diminution des heures d'entretien et de réparation nécessaires**. La fiabilité accrue des véhicules électrifiés ainsi que l'absence de besoin d'entretien des moteurs électriques participeraient ainsi à une diminution de près de 10% du chiffre d'affaires du secteur entre 2020 et 2036.
- Par ailleurs, les **acteurs du secteur aval** de l'automobile sont **peu concernés par les modules de puissance** des véhicules. Ceux-ci sont limités à la réalisation de contrôle et de diagnostic en cas de défaillance et au changement des blocs complets.

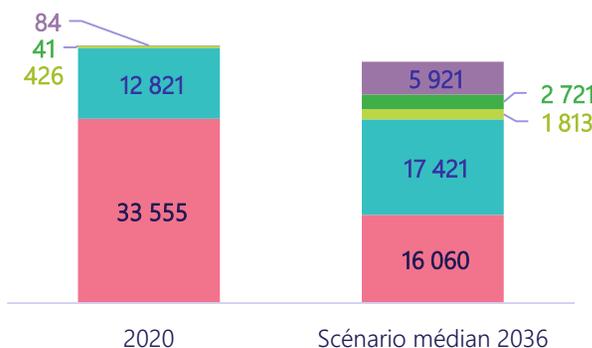
Évolution de la composition du parc automobile (véhicule particulier + véhicule utilitaire léger)

Source : Prospective Feria et Observatoire des métiers des services de l'automobile, scénario médian, 2018



Évolution du chiffre d'affaires de l'après-vente (en millions)

Source : Prospective Feria et Observatoire des métiers des services de l'automobile, scénario médian, 2018



L'ÉVOLUTION DE L'ÉLECTROMOBILITÉ EN FRANCE

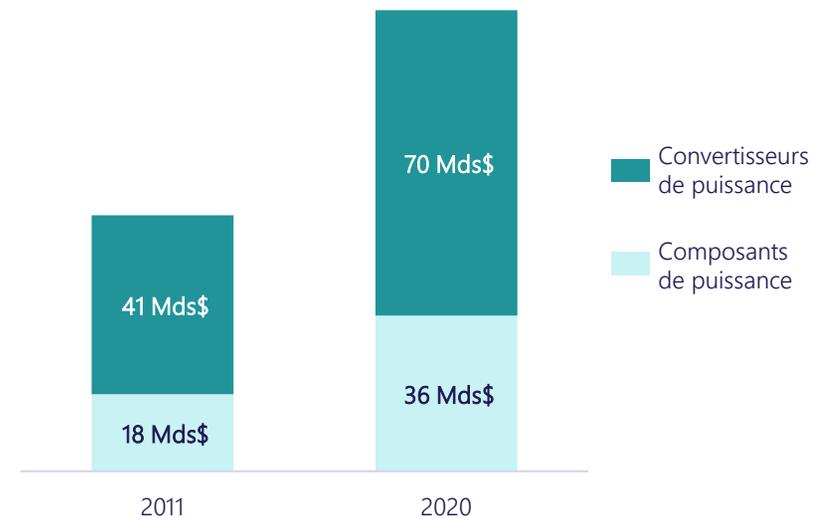
Industrie électronique

Une multiplication par 5 du marché mondial de l'électronique de puissance dédiée à l'électromobilité automobile

- L'électronique de puissance a vu son marché mondial augmenter de 77% entre 2011 et 2020 pour atteindre près de 105 milliards de dollars.
- Le développement de l'électromobilité automobile a fortement soutenu la demande en électronique de puissance puisque son marché a été multiplié par 5 passant d'environ 2 milliards de dollars en 2011 à près de 10 milliards en 2020.

Évolution du marché mondial de l'électronique de puissance

Source : Yole développement, 2013





2

L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ AUTOMOBILE

- a. L'électronique de puissance et les acteurs engagés dans l'électromobilité*
- b. L'évolution de l'électromobilité en France*
- c. Les évolutions et enjeux technologiques*

LES ÉVOLUTIONS ET ENJEUX TECHNOLOGIQUES

7 grands enjeux technologiques nécessitant des compétences particulières

Le développement de l'électronique de puissance dans le secteur de l'automobile confronte les acteurs de l'industrie électronique et de l'industrie automobile à sept enjeux technologiques et techniques.

1

LA RÉPONSE AUX EXIGENCES DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

2

LE DÉVELOPPEMENT DES COMPOSANTS GRAND GAP

3

LE RENFORCEMENT DES ENJEUX DE COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE

4

L'AUGMENTATION DES NIVEAUX DE TENSION

5

LA GESTION DE L'ÉNERGIE ET L'INTELLIGENCE EMBARQUÉE DANS LES MODULES DE PUISSANCE

6

LA PRISE EN COMPTE DES PROBLÉMATIQUES DE CYBERSÉCURITÉ

7

LA PRISE EN COMPTE DE L'ÉCO-CONCEPTION ET DES PROBLÉMATIQUES DE MAINTENANCE

LES ÉVOLUTIONS ET ENJEUX TECHNOLOGIQUES

7 grands enjeux technologiques nécessitant des compétences particulières

1

LA RÉPONSE AUX EXIGENCES DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

- L'intégration de l'électronique de puissance dans le secteur de l'automobile entraîne des contraintes supplémentaires sur l'ensemble de la chaîne électronique en termes de cadences de production, de coûts, de fiabilité et d'optimisation de l'ingénierie système permettant d'obtenir un meilleur ratio poids/volume/rendement.
- Cela entraîne des besoins en compétences en process et méthode ainsi que sur la partie conception sur la maîtrise des nouvelles structures d'électronique de puissance (architectures multicellulaires, multiniveaux ou entrelacées qui permettent d'augmenter les densités de puissance).

2

LE DÉVELOPPEMENT DES COMPOSANTS GRAND GAP

- Face aux besoins d'élévation des niveaux de puissance et de compacité, les composants grand gap (SiC et GaN) se développent au détriment des composants en silicium (IGBT et MOSFET).
- Cette dynamique entraîne des besoins en connaissances plus pointues sur ces composants (caractérisation, dimensionnement...) tout en accentuant les problématiques de gestion thermique et de compatibilité électromagnétique

3

LE DÉVELOPPEMENT DES COMPOSANTS GRAND GAP

- Le développement des composants grand gap (fonctionnant à plus haute fréquence) et l'intégration accrue de nouvelles fonctionnalités dans les véhicules, renforcent les problématiques de compatibilité électromagnétique.
- Le renforcement de cette problématique implique des compétences plus pointues dans la mesure des CEM, la conception des filtres CEM, mais aussi dans l'intégration de la CEM dans le dimensionnement des structures de puissance.

4

L'AUGMENTATION DES NIVEAUX DE TENSION

- L'augmentation des niveaux de tension (aujourd'hui majoritairement sur du 48V, de puissance dépassant les 400V) accentue les problématiques de gestion thermique.
- Cela renforce le besoin en compétences sur les problématiques de gestion thermique notamment sur les radiateurs, mais également sur les composants et les isolants utilisés.

LES ÉVOLUTIONS ET ENJEUX TECHNOLOGIQUES

7 grands enjeux technologiques nécessitant des compétences particulières

5 LA GESTION DE L'ÉNERGIE ET DE L'INTELLIGENCE EMBARQUÉE

- L'électronique de puissance joue un rôle clef dans le stockage et la conversion de l'énergie, mais aussi dans l'utilisation et le dimensionnement du moteur.
- Cela implique d'une part des compétences en intégration afin que les systèmes de puissance communiquent avec l'ensemble des autres modules électroniques contenus dans le véhicule, et d'autre part, des capacités à intégrer de l'intelligence embarquée permettant pour d'optimiser la fiabilité des composants et conversion. Cela implique d'intégrer les dimensions monitoring et d'instrumentation.

6

LA PRISE EN COMPTE DE L'ÉCO-CONCEPTION

- Les enjeux croissants de transition écologique ainsi que les réglementations en termes de recyclage impliquent d'intégrer une logique d'écoconception sur l'ensemble de la chaîne de valeur (recyclage de certains alliages pour les isolants, mais aussi intégrer la maintenance et le changement des éléments lors de la conception des ensembles et des sous-ensembles).

7

LA PRISE EN COMPTE DE LA CYBERSÉCURITÉ

- Le développement de l'électronique dans les véhicules implique de renforcer la prise en compte des problématiques de cybersécurité.
- Cela implique une prise en compte spécifique de cet enjeu à la fois dans l'ingénierie système pour garantir sa sécurité et sa protection, et dans la conception des composants et des cartes électroniques pour garantir leur fiabilité.

- 
- 1 MÉTHODE ET OBJECTIF
 - 2 L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ
 - 3 LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE**
 - 4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION
 - 5 ÉLABORATION DE PISTES D'ACTION



3

LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- a. Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'électronique*
- b. Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'automobile*
- c. Les impacts et besoins métiers chez les acteurs de l'automobile aval*
- d. Les problématiques RH liées au développement de l'électronique de puissance*

LES BESOINS EN EMPLOIS ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Les besoins dans la filière de l'industrie électronique



Entre 3 000 et 3 700
emplois possibles liés
à l'électronique de
puissance en 2025*

Hypothèses :

- Nombre de véhicules vendus dans le monde : 109 millions (BCG, 2020)
- Valeur de l'électronique de puissance par véhicule : 670€ (PFA, 2020)
- Part de marché de l'industrie électronique française : 0,8% pour les composants discrets, 0,95% pour les circuits intégrés (HS4 trade classification, United Nations Harmonized Commodity Description and Coding Systems 4, 2016).
- CA/salariés : 214 286€/sal. (DGE, 2017)

L'ensemble des métiers de l'électronique potentiellement concernés par l'électronique de puissance

Compte tenu du marché potentiel lié au développement de l'électromobilité automobile, les emplois mobilisés pourraient être conséquents. L'ensemble des métiers actuels pourraient être mobilisés sur l'ensemble des composants des convertisseurs (semi-conducteurs, passifs, connectiques, PCB...).

Des besoins en compétences renforcés par le développement des composants grand gap

Les composants grand gap (SiC, GaN) sont stratégiques pour la filière. Leur développement engendre des problématiques techniques sur les autres composants des convertisseurs requérant des compétences accrues en mesure, en thermique et en électromagnétisme pour gérer des puissances plus élevées.

Des compétences nouvelles à développer pour répondre aux exigences de l'industrie automobile

Pour répondre aux cadences de l'automobile et à la concurrence internationale, l'automatisation de la production est un enjeu fort. Cela génère des besoins en ingénieurs / techniciens process et des compétences en gestion de projet, en mécatronique et en automatisme.

Les exigences de rendement et de fiabilité renforcent les besoins en optimisation des produits et en test sous tensions élevées.

LES BESOINS EN EMPLOIS ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Les fabricants de composants

Le secteur de la fabrication de composants électroniques pourrait présenter d'importants besoins en recrutement pour répondre au développement de l'électromobilité automobile.

Les enjeux de production sont principalement centrés sur la fabrication de semi-conducteurs grand gap (GaN, SiC), de refroidisseurs, de busbar de connexion, de condensateurs et, de manière générale, de composants supportant de grandes puissances et des températures élevées.

Des métiers de la conception amenés à travailler sur des composants grand gap (GaN, SiC) et sur des problématiques techniques associées

La fabrication de composants grand gap est un enjeu crucial pour l'automobile puisqu'elle permet de prendre en charge des niveaux de tension et de fréquences plus élevés que ceux permis par les semiconducteurs à base de silicium (IGBT et Mosfet).

Les métiers de la conception, de la recherche et du développement de niveau ingénieur doivent intégrer des connaissances relatives aux propriétés de ces composants et être en mesure de mener des spécifications techniques plus sévères en termes d'efficacité énergétique, de gestion de l'inductance et des harmoniques. L'augmentation des niveaux tensions permise par ces composants implique de concevoir des radiateurs performants et des composants (passifs, connectiques...) supportant des températures élevées.

Une évolution des besoins métiers liée aux exigences de l'automobile

Les fabricants de composants doivent également répondre aux besoins spécifiques de l'industrie automobile en automatisant davantage leur production : optimisation des composants en termes de ratio densité / puissance / coût et accroissement des capacités de production, fiabilité.

L'automatisation accrue de la production requiert des ingénieurs et techniciens process spécialisés dans les procédés de fabrication de composants. Elle transforme également les métiers de la fabrication, les opérateurs salles blanches devant intégrer des compétences en électromécanique et en pilotage de machines automatisées.



Les métiers associés et les principales compétences

Ingénieur conception de composants

- Définir les spécifications techniques des composants de l'électronique de puissance et les designer (semi-conducteurs Si, SiC, GaN, passifs, connectiques...)
- Simuler les performances et réactions du composant
- Élaborer les tests et essais
- Mesurer les performances des composants

Compétences clefs : physique de l'état solide, semiconducteurs de puissance, électromagnétisme, thermique, conversion d'énergie, gestion de projet

Ingénieur et technicien process

- Concevoir les lignes de production en tenant compte des contraintes de fabrication des cartes
- Optimiser les process de fabrication pour automatiser la production et augmenter les cadences

Compétences clefs : électronique, industrialisation, gestion de projet

Technicien d'essai et de mesure

- Réaliser les tests et mesures sur les composants de puissance
- Diagnostiquer les dysfonctionnements
- Faire évoluer les gammes

Compétences clefs : mesures physiques

Opérateur salle blanche

- Programmer et piloter les machines de production
- Contrôler les process et la qualité des composants

Compétences clefs : mécatronique, automatisme

LES BESOINS EN EMPLOIS ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Les fabricants et concepteurs de cartes électroniques

De la même manière que les fabricants de composants, les concepteurs et fabricants de cartes (PCB) pourraient voir leurs besoins en recrutement se développer pour répondre aux besoins de l'industrie automobile.

Les enjeux de production de ces acteurs sont centrés sur l'automatisation de la production, l'optimisation de l'intégration de composants la gestion thermique et électromagnétique et le développement des activités de test.

Des besoins nouveaux en recrutement axés sur des profils de mécatroniciens

Si le cœur de métier des concepteurs et fabricants de cartes demeure la mécanique et la chimie, l'électronique de puissance génère des **besoins en compétences électroniques sur les niveaux ingénieurs et techniciens** pour être en mesure de répondre aux nouvelles problématiques des acteurs de l'automobile et concevoir de nouvelles gammes de fabrication.

Les concepteurs de cartes doivent également intégrer les **problématiques de gestion thermique et électromagnétique** des composants et des PCB. Par ailleurs, la recherche d'optimisation de place pousse les concepteurs et fabricants à **intégrer directement les composants dans les PCB**.

Une possible remontée de la chaîne de valeur intégrant les activités de test

Alors qu'ils devront **respecter de nouvelles gammes de production**, les métiers de la fabrication des cartes pourront **intégrer des activités de test**. Cela devrait générer des besoins sur des profils de technicien essais appelés à mobiliser des compétences en mesures (électronique, thermique, électromagnétique...) et en gestion de courants forts.

Un enjeu de compétences lié à la montée en cadence de la production

Pour répondre aux exigences de l'automobile et faire face à la concurrence internationale, **l'automatisation de la production** de cartes est un enjeu important. L'évolution des lignes de production génère des **besoins en ingénieurs et techniciens process** capables de concevoir des **lignes d'assemblage et de contrôle à plus grande cadence** tout en intégrant les contraintes liées à l'association de plusieurs types de composants, au procédé de frittage ou encore à l'utilisation des fours à soudure.



Les métiers associés et les principales compétences

Ingénieur conception de cartes électroniques de puissance

- Analyser les spécifications clients
- Concevoir des architectures électroniques des cartes
- Dimensionner les composants de puissance
- Mettre au point et valider les cartes électroniques
- Définir les requis d'intégration mécaniques

Compétences clefs : connaissance des composants et systèmes de puissance, chimie, thermique, mécanique

Ingénieur process

- Concevoir les lignes de production robotisées en tenant compte des contraintes de fabrication des cartes
- Optimiser les process de fabrication pour automatiser la production et augmenter les cadences

Compétences clefs : mécanique, industrialisation, robotisation

Technicien test

- Réaliser les essais de caractérisation, de fiabilité, de performance des cartes et composants
- Réaliser les mesures physiques (électromagnétiques, thermiques...)

Compétences clefs : mesures physiques, électricité haute tension,

Monteur/euse-câbleur/euse

- Assembler les différents composants de puissance en suivant les gammes opératoires (frittage, brasage...)
- Régler les appareils de fabrication et d'assemblage des cartes
- Contrôler la qualité des cartes fabriquées

Compétences clefs : mécanique, pilotage et réglage de machines automatisées, interprétation de données qualités

3

LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- a. *Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'électronique*
- b. *Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'automobile*
- c. *Les impacts et besoins métiers chez les acteurs de l'automobile aval*
- d. *Les problématiques RH liées au développement de l'électronique de puissance*

LES BESOINS EN EMPLOIS ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Les besoins dans la filière de l'industrie automobile



4 000 emplois possibles
liés à l'électronique de
puissance en 2030

Source : PFA, 2020

Un double enjeu sur les compétences de conception produit et de conception process

Les métiers de la conception sont très mobilisés par le développement de l'électronique de puissance. La conception produit requiert d'optimiser les systèmes existants sur des tensions et fréquences plus élevées. La conception process doit mettre au point des processus automatisés intégrant des procédures de mesure et contrôle spécifiques aux modules de puissance.

Des métiers d'intégration et d'architecture système évoluant vers la mécatronique et la gestion de données

Les équipements de puissance s'insèrent dans une architecture système et électronique à la complexité croissante. Le caractère stratégique des compétences d'intégration et d'architecture est ainsi renforcé. Les besoins en compétences multiphysiques (thermique, mécanique, électronique, automatisme...) et en gestion et analyse des flux de données favorise la recherche de profils de mécatroniciens et de data scientist.

Des besoins en sécurité pour les activités de contrôle sous des tensions élevées les métiers de l'assemblage

Les métiers de l'assemblage des systèmes et véhicules intègrent des nouvelles activités de test et de vérification à des niveaux de tension importants. Cela génère des besoins sur des compétences en électricité (test, sécurité...) et sur le contrôle des nouveaux procédés automatisés de fabrication.

LES BESOINS EN EMPLOIS ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Les équipementiers et sous-équipementiers automobiles

Les équipementiers et sous-équipementiers automobiles sont en charge de la conception et de l'assemblage de modules et/ou de convertisseurs pour les constructeurs.

Si la conception des modules de puissance et de convertisseurs demeure stratégique, les enjeux de production résident également dans l'optimisation de l'intégration des modules de puissance dans les convertisseurs.

Un besoin sur des profils de mécatroniciens aux compétences multiphysiques

L'intégration des modules de puissance requiert un ensemble de compétences multiphysiques complémentaires permettant de rendre les convertisseurs et modules de puissance plus compacts et efficaces : connaissance des systèmes de puissance, thermique, thermomécanique ou encore physique-chimie. Compte tenu de cet ensemble de compétences à mobiliser, **les profils d'ingénieurs recherchés** dans la conception **évoluent de profils d'électroniciens vers des profils de mécatroniciens**.

Une activité d'intégration dans un système électronique complexe

Outre leur conception, les équipementiers et sous-équipementiers doivent intégrer les modules dans une architecture électronique complexe de l'automobile. Ceux-ci sont associés aux fonctions de commande et de communication et intègrent des capacités de traitement de données. Les **compétences mobilisées** ont alors **trait à l'architecture système** et à la **data science**.

Des activités automatisées générant des besoins en test et mesure lors de l'assemblage des équipements

La complexité des processus de fabrication des équipements d'électronique de puissance (intégration sur substrat de silicium...) et les exigences de l'automobile en termes de fiabilité et de rendement impliquent un **contrôle poste-à-poste des opérations d'assemblage**. La **maîtrise des processus de contrôle** (mesure thermique par infrarouge, imagerie intelligente, lecture de données, procédures de validation des logiciels...) ainsi que la maîtrise des procédures de contrôle et de test sur des tensions élevées sont nécessaires.



Les métiers associés et les principales compétences

Ingénieur conception de convertisseurs

- Dimensionner les convertisseurs, les composants et définir les logiques de commande
- Caractériser les performances électriques et énergétiques des convertisseurs
- Réaliser les prototypes et les essais

Compétences clefs : mécatronique, composants de puissance, thermique, électromagnétique, conversion d'énergie, contrôle de moteur

Ingénieur test et validation

- Réaliser les tests (plan de tests, mise en place des manipulations, mesures)
- Concevoir et fabriquer les bancs de test

Compétences clefs : mesures multiphysiques (thermiques, électromagnétique, électrique...)

Ingénieur process

- Concevoir les lignes de production en tenant compte des contraintes de fabrication des modules de puissance
- Optimiser les processus de fabrication pour automatiser la production et augmenter les cadences

Compétences clefs : mécanique, électronique, automatisme, industrialisation

Technicien d'assemblage

- Régler et suivre les appareils d'assemblage des modules
 - Contrôler la qualité et réaliser les tests sous tensions élevées
- Compétences clefs : mécanique, électricité, pilotage et réglage de machines automatisées, interprétation de données qualitatifs*

LES BESOINS EN EMPLOIS ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Les constructeurs automobiles

Les constructeurs sont en charge de l'architecture complète du véhicule et des interactions entre les différents systèmes qui le composent y compris les modules de puissance.

L'enjeu de la production réside à la fois dans la conception produit, la conception process et dans l'architecture des véhicules.

Des besoins passant des profils de mécaniciens à des profils de mécatroniciens

L'intégration croissante de l'électronique dans les véhicules génère des besoins en compétences relevant de ce domaine technique **favorisant ainsi les profils d'ingénieurs et techniciens mécatroniciens**. L'intégration des modules de puissance requiert **notamment des architectes réseau** afin de permettre le transit et le traitement des informations entre les systèmes.

Des besoins en conception centrés sur la conception produit et la conception process

Les besoins des constructeurs portant sur les **profils d'ingénieurs conception portent sur la partie produit et process**. Alors que les premiers doivent être capables d'optimiser un système de puissance en **maîtrisant l'ensemble de la chaîne de l'électronique de puissance** (connaissance des caractéristiques techniques des composants électroniques, dont les composants grand gap, architecture des systèmes de puissance...), les seconds doivent **concevoir des outils industriels automatisés** permettant d'assembler les systèmes d'électroniques de puissance à grande cadence tout en respectant les exigences de fiabilité de l'automobile.

Sur l'assemblage, des vérifications sur des tensions plus élevées

Bien que l'assemblage des modules de puissance ne transforme pas profondément les métiers d'opérateur/technicien d'assemblage certaines compétences nouvelles sont nécessaires pour garder des capacités de production industrielle. Certains profils intervenant notamment sur la partie test et essais doivent en maîtriser les normes de sécurité appliquée à la manipulation de tensions élevées.



Les métiers associés et les principales compétences

Ingénieur conception produit

- Concevoir l'architecture des systèmes
- Caractériser et dimensionner les modules de puissance et les intégrer aux systèmes du véhicule
- Définir les logiques de commande et les flux d'informations entre les systèmes de puissance et les autres systèmes

Compétences clefs : mécatronique, composants de puissance, thermique, électromagnétique, architecture système, intégration, analyse et gestion des données

Ingénieur process

- Concevoir les lignes de production en tenant compte des contraintes de fabrication des modules de puissance
- Optimiser les process de fabrication pour automatiser la production et augmenter les cadences

Compétences clefs : mécanique, électronique, automatisme, industrialisation

Technicien d'assemblage

- Régler et suivre les appareils d'assemblage des modules
- Contrôler la qualité et réaliser les tests sous tensions élevées

Compétences clefs : mécanique, électricité, pilotage et réglage de machines automatisées, interprétation de données qualités

3

LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- a. *Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'électronique*
- b. *Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'automobile*
- c. *Les impacts et besoins métiers chez les acteurs de l'automobile aval*
- d. *Les problématiques RH liées au développement de l'électronique de puissance*

LES BESOINS EN EMPLOIS ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Les besoins dans la filière aval de l'automobile



Entre 100 et 1 300 emplois perdus annuellement en partie du fait du changement de motorisation*

Source : ANFA, 2020

Un impact limité sur les besoins en emplois et en compétences

L'impact du développement de l'électronique de puissance sur les besoins en emploi et en compétence pourrait être limité dans la filière aval de l'automobile du fait de l'inertie du parc automobile, des moindres besoins en main-d'œuvre dans la maintenance des véhicules électrifiés et des interventions limitées sur l'électronique de puissance

Des activités de maintenance n'intégrant pas l'électronique de puissance

Les activités sont pour le moment circonscrites au contrôle, au diagnostic et à la pose et dépose de blocs. Les intervenants n'ont donc pas à disposer de compétences en électronique de puissance. En fonction des constructeurs ils peuvent être amenés à changer un convertisseur ou un onduleur.

*Ces estimations comprennent les effets combinés du changement de motorisation des véhicules et du vieillissement du parc sur l'emploi

3

LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- a. *Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'électronique*
- b. *Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'automobile*
- c. *Les impacts et besoins métiers chez les acteurs de l'automobile aval*
- d. *Les problématiques RH liées au développement de l'électronique de puissance*

LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Des besoins sur des profils en tension de plus en plus recherchés

Des besoins sur des profils et des métiers d'ores et déjà en tension

Des besoins en métiers et en compétences liées à l'électronique de puissance également présents dans d'autres secteurs d'activité

Des effets durables de la crise sanitaire sur certains secteurs industriels (aéronautique) pouvant rendre davantage de profils disponibles

Des besoins portant sur des métiers déjà en tension

Alors que les industriels interrogés mettent en avant des **difficultés pour trouver des profils d'ingénieur et de technicien spécialisés dans l'électronique de puissance**, ces tensions pourraient s'intensifier du fait de la demande accrue sur ces profils.

Deux facteurs sont principalement avancés par les entreprises et professionnels interrogés :

- 1 Un **déficit général en compétences dans les domaines de l'électronique et de la mécanique** alors que les besoins sont croissants dans l'automobile. Les ingénieurs en électronique demeurent difficiles à trouver dans le **secteur de l'automobile**, mais aussi dans **l'industrie électronique**. Les entreprises mettent en avant la **visibilité et l'attractivité limitées de leurs secteurs face à d'autres secteurs** tels que l'aéronautique ou la défense.
- 2 Les besoins en électronique de puissance ont connu un déclin important générant la réduction des formations initiales abordant les problématiques de l'électronique de puissance au profit de celles relatives au numérique. Les besoins des industriels ayant émergé rapidement, **l'appareil de formation n'a pas encore eu le temps de s'adapter à cette nouvelle demande**.

Des besoins en électronique de puissance au-delà de l'électromobilité automobile

L'électronique de puissance est un domaine technique déjà présent et mobilisant des ingénieurs et techniciens dans d'autres secteurs d'activités (ferroviaire, aéronautique, énergie...).

Or, l'extension progressive à de nouvelles applications dans ces secteurs (énergies solaires, électrification des avions...) génère des besoins supplémentaires sur des profils d'ingénieur en électronique de puissance.

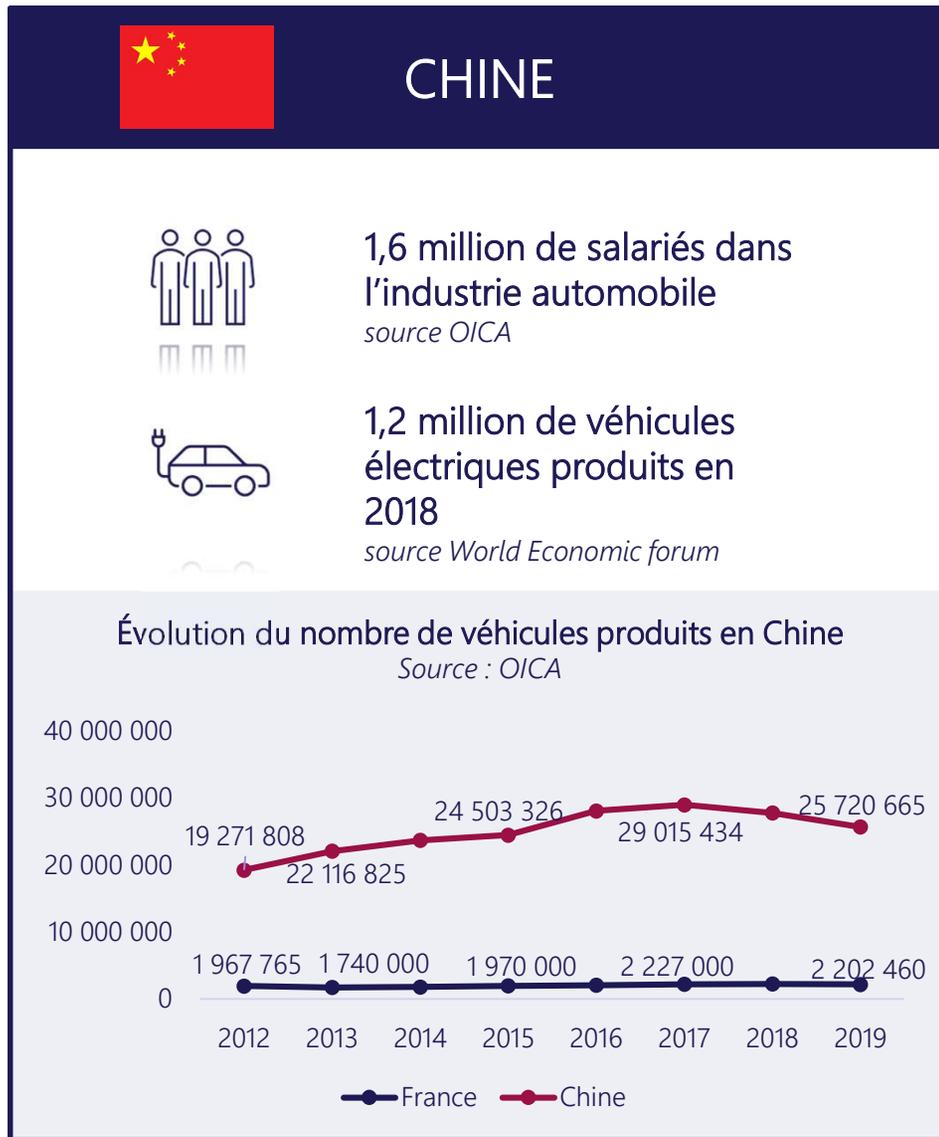
3

LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

- a. *Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'électronique*
- b. *Les impacts et besoins métiers chez les industriels de l'automobile*
- c. *Les impacts et besoins métiers chez les acteurs de l'automobile aval*
- d. *Les problématiques RH liées au développement de l'électronique de puissance*
- e. *Benchmark international – l'emploi automobile et électronique à l'international*

BENCHMARK – L'EMPLOI AUTOMOBILE ET ÉLECTRONIQUE À L'INTERNATIONAL

L'emploi automobile en Chine



Premier marché et premier producteur mondial de véhicules électriques

La Chine a produit et vendu près d'1,2 million de véhicules électriques en 2018 (1 million de BEV et 0,22 de PHEV), la plaçant au rang de **premier producteur et de premier marché mondial** concernant les véhicules électriques. En 2025 le volume de ventes pourrait atteindre 7,8 millions de véhicules.

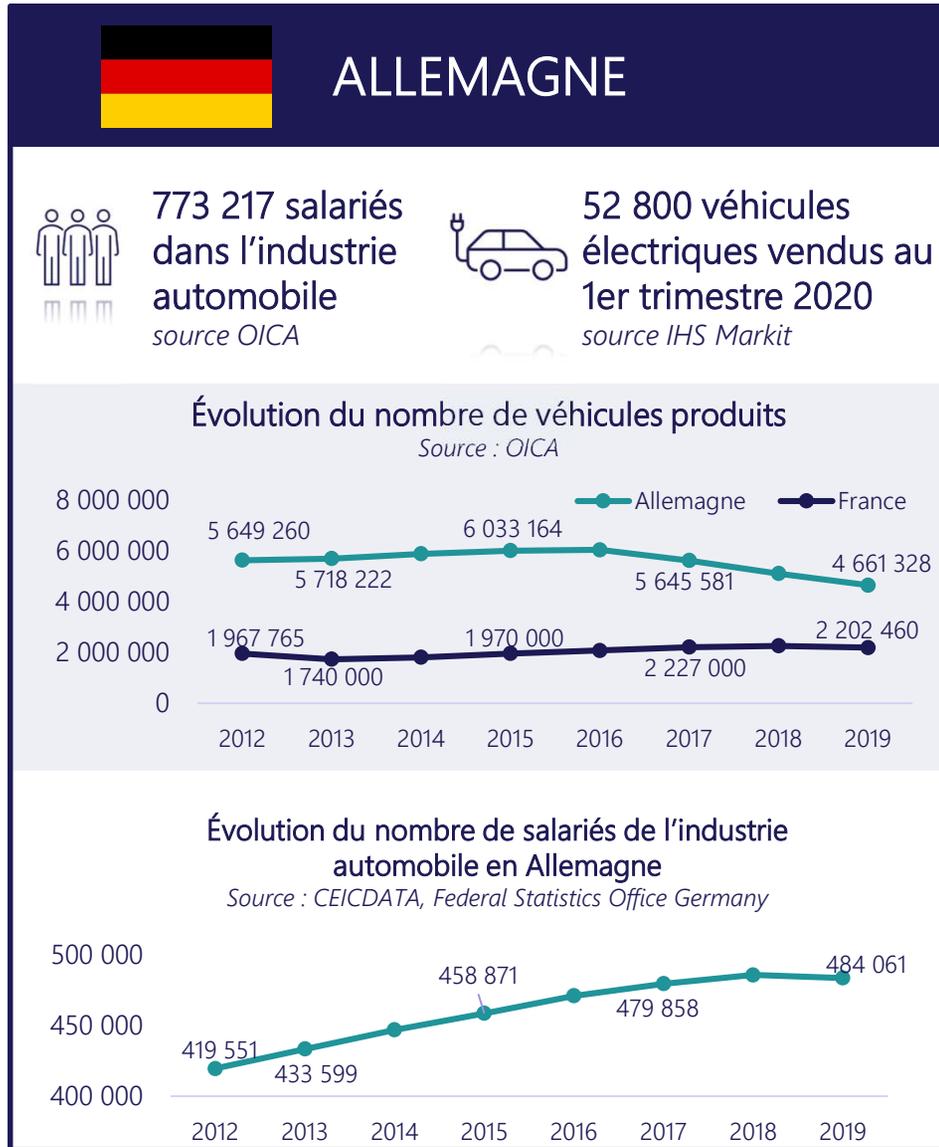
Un pays dont l'expertise sur l'électronique de puissance est tirée par un savoir-faire dans les véhicules électriques

Les experts du secteur interrogés soulignent les **fortes compétences** dont dispose le pays sur **l'électronique de puissance** (à l'image notamment du nombre de publications chinoises dans l'IEEE Power Electronics Magazine). Celles-ci proviendraient en partie de la certaine tradition du pays dans la conception et la production de véhicules électrifiés.

Face à l'enjeu de la **pollution de l'air**, l'**électrification du parc des véhicules** (scooters, automobiles, bus...) a **été entreprise depuis un certain temps dans le pays**. Cette avance historique a **généré un certain savoir-faire** et a permis de développer dans le pays des compétences clés relatives à l'électrification (batteries, électronique de puissance...). Ainsi, le marché chinois est majoritairement occupé par des producteurs automobiles locaux (notamment BYD et Baic Bjev).

BENCHMARK – L'EMPLOI AUTOMOBILE ET ÉLECTRONIQUE À L'INTERNATIONAL

L'emploi automobile en Allemagne



Premier marché européen premier producteur européen

L'industrie automobile allemande emploie près de 775 000 salariés. La production en véhicules électrifiés repose à la fois sur un **marché intérieur en développement** (1^{er} marché européen avec plus de 52 000 véhicules vendus au 1^{er} trimestre 2020) et sur le **marché mondial**.

Les constructeurs allemands qui représentent 18% de la production mondiale de véhicules électriques pourraient représenter 24% en 2024. Avec près d'1,7 million de véhicules électriques **potentiellement produits en 2021**, ils pourraient même être **les premiers producteurs mondiaux** devant la Chine.

Un pays s'appuyant sur une industrie automobile et électronique solide en croissance.

Les experts interrogés ont mis en avant le fait que l'Allemagne, contrairement à la France, **a gardé une importante production automobile et électronique** ainsi que **d'importants efforts en R&D sur son sol**. Cette **continuité dans l'appareil industriel** a permis au pays d'acquérir de nombreuses compétences et moyens de production liés à l'électronique de puissance dans l'automobile.

Par ailleurs, l'industrie bénéficie d'un **système d'enseignement** qui permet de **former à la fois des chercheurs aux compétences théoriques approfondies et des ingénieurs spécialisés** très tournés vers les problématiques industrielles.



1 MÉTHODE ET OBJECTIF

2 L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE
LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ

3 LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES
LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

 4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION

5 ÉLABORATION DE PISTES D'ACTION

6 ANNEXES

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION

Méthodologie – analyse de l'offre de formation

1. Recensement des formations initiales pouvant mener aux secteurs de l'électronique et/ou de la photonique - *Sources : ONISEP, Groupe de travail emploi-formation du CSF Electronique,*
2. Cartographie des formations adressées par les établissements - *Source : ONISEP*
3. Questionnaire en ligne auprès des organismes de formation mobilisés par les entreprises faisant financer une partie de leurs formations auprès de l'OPCO 2i
4. Analyse sur les principaux moteurs de recherche des formations liés à l'électronique de puissance dans l'électromobilité

Constitution de bases de données compilant les résultats

ACT	SPE	E	ACTID	SPEID	CNS	Secteur d'...	Parametr...	FOR ID	Niveau de C...
1	1	16	1044	121	Oui			B462	7
3	2	16	10251	121	Oui			B462	7
4	3	16	10270	121	Oui			B462	7
3	4	16	1044	131	Oui			B411	7
6	5	16	1044	131	Oui			B411	7
7	6	16							
8	7	16							
9	8	16							
10	9	16							
11	10	16							
12	11	16							
13	12	16							
14	13	16							
15	14	16							
16	15	16							
17	16	16							
18	17	16							
19	18	16							
20	19	16							
21	20	16							
22	21	16							
23	22	16							
24	23	16							
Liste formations									
Effectifs aduc en L									
Effectifs aduc en M									
Effectifs aduc en H									
Effectifs aduc en S									
Effectifs aduc en T									
Effectifs aduc en U									
Effectifs aduc en V									
Effectifs aduc en W									
Effectifs aduc en X									
Effectifs aduc en Y									
Effectifs aduc en Z									
Effectifs aduc en AA									
Effectifs aduc en AB									
Effectifs aduc en AC									
Effectifs aduc en AD									
Effectifs aduc en AE									
Effectifs aduc en AF									
Effectifs aduc en AG									
Effectifs aduc en AH									
Effectifs aduc en AI									
Effectifs aduc en AJ									
Effectifs aduc en AK									
Effectifs aduc en AL									
Effectifs aduc en AM									
Effectifs aduc en AN									
Effectifs aduc en AO									
Effectifs aduc en AP									
Effectifs aduc en AQ									
Effectifs aduc en AR									
Effectifs aduc en AS									
Effectifs aduc en AT									
Effectifs aduc en AU									
Effectifs aduc en AV									
Effectifs aduc en AW									
Effectifs aduc en AX									
Effectifs aduc en AY									
Effectifs aduc en AZ									
Effectifs aduc en BA									
Effectifs aduc en BB									
Effectifs aduc en BC									
Effectifs aduc en BD									
Effectifs aduc en BE									
Effectifs aduc en BF									
Effectifs aduc en BG									
Effectifs aduc en BH									
Effectifs aduc en BI									
Effectifs aduc en BJ									
Effectifs aduc en BK									
Effectifs aduc en BL									
Effectifs aduc en BM									
Effectifs aduc en BN									
Effectifs aduc en BO									
Effectifs aduc en BP									
Effectifs aduc en BQ									
Effectifs aduc en BR									
Effectifs aduc en BS									
Effectifs aduc en BT									
Effectifs aduc en BU									
Effectifs aduc en BV									
Effectifs aduc en BW									
Effectifs aduc en BX									
Effectifs aduc en BY									
Effectifs aduc en BZ									
Effectifs aduc en CA									
Effectifs aduc en CB									
Effectifs aduc en CC									
Effectifs aduc en CD									
Effectifs aduc en CE									
Effectifs aduc en CF									
Effectifs aduc en CG									
Effectifs aduc en CH									
Effectifs aduc en CI									
Effectifs aduc en CJ									
Effectifs aduc en CK									
Effectifs aduc en CL									
Effectifs aduc en CM									
Effectifs aduc en CN									
Effectifs aduc en CO									
Effectifs aduc en CP									
Effectifs aduc en CQ									
Effectifs aduc en CR									
Effectifs aduc en CS									
Effectifs aduc en CT									
Effectifs aduc en CU									
Effectifs aduc en CV									
Effectifs aduc en CW									
Effectifs aduc en CX									
Effectifs aduc en CY									
Effectifs aduc en CZ									
Effectifs aduc en DA									
Effectifs aduc en DB									
Effectifs aduc en DC									
Effectifs aduc en DD									
Effectifs aduc en DE									
Effectifs aduc en DF									
Effectifs aduc en DG									
Effectifs aduc en DH									
Effectifs aduc en DI									
Effectifs aduc en DJ									
Effectifs aduc en DK									
Effectifs aduc en DL									
Effectifs aduc en DM									
Effectifs aduc en DN									
Effectifs aduc en DO									
Effectifs aduc en DP									
Effectifs aduc en DQ									
Effectifs aduc en DR									
Effectifs aduc en DS									
Effectifs aduc en DT									
Effectifs aduc en DU									
Effectifs aduc en DV									
Effectifs aduc en DW									
Effectifs aduc en DX									
Effectifs aduc en DY									
Effectifs aduc en DZ									
Effectifs aduc en EA									
Effectifs aduc en EB									
Effectifs aduc en EC									
Effectifs aduc en ED									
Effectifs aduc en EE									
Effectifs aduc en EF									
Effectifs aduc en EG									
Effectifs aduc en EH									
Effectifs aduc en EI									
Effectifs aduc en EJ									
Effectifs aduc en EK									
Effectifs aduc en EL									
Effectifs aduc en EM									
Effectifs aduc en EN									
Effectifs aduc en EO									
Effectifs aduc en EP									
Effectifs aduc en EQ									
Effectifs aduc en ER									
Effectifs aduc en ES									
Effectifs aduc en ET									
Effectifs aduc en EU									
Effectifs aduc en EV									
Effectifs aduc en EW									
Effectifs aduc en EX									
Effectifs aduc en EY									
Effectifs aduc en EZ									
Effectifs aduc en FA									
Effectifs aduc en FB									
Effectifs aduc en FC									
Effectifs aduc en FD									
Effectifs aduc en FE									
Effectifs aduc en FF									
Effectifs aduc en FG									
Effectifs aduc en FH									
Effectifs aduc en FI									
Effectifs aduc en FJ									
Effectifs aduc en FK									
Effectifs aduc en FL									
Effectifs aduc en FM									
Effectifs aduc en FN									
Effectifs aduc en FO									
Effectifs aduc en FP									
Effectifs aduc en FQ									
Effectifs aduc en FR									
Effectifs aduc en FS									
Effectifs aduc en FT									
Effectifs aduc en FU									
Effectifs aduc en FV									
Effectifs aduc en FW									
Effectifs aduc en FX									
Effectifs aduc en FY									
Effectifs aduc en FZ									
Effectifs aduc en GA									
Effectifs aduc en GB									
Effectifs aduc en GC									
Effectifs aduc en GD									
Effectifs aduc en GE									
Effectifs aduc en GF									
Effectifs aduc en GG									
Effectifs aduc en GH									
Effectifs aduc en GI									
Effectifs aduc en GJ									
Effectifs aduc en GK									
Effectifs aduc en GL									
Effectifs aduc en GM									
Effectifs aduc en GN									
Effectifs aduc en GO									
Effectifs aduc en GP									
Effectifs aduc en GQ									
Effectifs aduc en GR									
Effectifs aduc en GS									
Effectifs aduc en GT									
Effectifs aduc en GU									
Effectifs aduc en GV									
Effectifs aduc en GW									
Effectifs aduc en GX									
Effectifs aduc en GY									
Effectifs aduc en GZ									
Effectifs aduc en HA									
Effectifs aduc en HB									
Effectifs aduc en HC									
Effectifs aduc en HD									
Effectifs aduc en HE									
Effectifs aduc en HF									
Effectifs aduc en HG									
Effectifs aduc en HH									
Effectifs aduc en HI									
Effectifs aduc en HJ									
Effectifs aduc en HK									
Effectifs aduc en HL									
Effectifs aduc en HM									
Effectifs aduc en HN									
Effectifs aduc en HO									
Effectifs aduc en HP									
Effectifs aduc en HQ									
Effectifs aduc en HR									
Effectifs aduc en HS									
Effectifs aduc en HT									
Effectifs aduc en HU									
Effectifs aduc en HV									
Effectifs aduc en HW									
Effectifs aduc en HX									
Effectifs aduc en HY									
Effectifs aduc en HZ									
Effectifs aduc en IA									
Effectifs aduc en IB									
Effectifs aduc en IC									
Effectifs aduc en ID									
Effectifs aduc en IE									
Effectifs aduc en IF									
Effectifs aduc en IG									
Effectifs aduc en IH									
Effectifs aduc en II									
Effectifs aduc en IJ									
Effectifs aduc en IK									
Effectifs aduc en IL									
Effectifs aduc en IM									
Effectifs aduc en IN									
Effectifs aduc en IO									
Effectifs aduc en IP									
Effectifs aduc en IQ									
Effectifs aduc en IR									
Effectifs aduc en IS									
Effectifs aduc en IT									
Effectifs aduc en IU									
Effectifs aduc en IV									
Effectifs aduc en IW									
Effectifs aduc en IX									
Effectifs aduc en IY									
Effectifs aduc en IZ									
Effectifs aduc en JA									
Effectifs aduc en JB									
Effectifs aduc en JC									
Effectifs aduc en JD									
Effectifs aduc en JE									
Effectifs aduc en JF									
Effectifs aduc en JG									
Effectifs aduc en JH									
Effectifs aduc en JI									
Effectifs aduc en JJ									
Effectifs aduc en JK									
Effectifs aduc en JL									
Effectifs aduc en JM									
Effectifs aduc en JN									
Effectifs aduc en JO									
Effectifs aduc en JP									
Effectifs aduc en JQ									
Effectifs aduc en JR									
Effectifs aduc en JS									
Effectifs aduc en JT									
Effectifs aduc en JU									
Effectifs aduc en JV									
Effectifs aduc en JW									
Effectifs aduc en JX									
Effectifs aduc en JY									
Effectifs aduc en JZ									
Effectifs aduc en KA									
Effectifs aduc en KB									
Effectifs aduc en KC									
Effectifs aduc en KD									
Effectifs aduc en KE									
Effectifs aduc en KF									
Effectifs aduc en KG									
Effectifs aduc en KH									
Effectifs aduc en KI									
Effectifs aduc en KJ									
Effectifs aduc en KK									
Effectifs aduc en KL									
Effectifs aduc en KM									
Effectifs aduc en KN									
Effectifs aduc en KO									
Effectifs aduc en KP									
Effectifs aduc en KQ									
Effectifs aduc en KR									
Effectifs aduc en KS									
Effectifs aduc en KT									
Effectifs aduc en KU									
Effectifs aduc en KV									
Effectifs aduc en KW									
Effectifs aduc en KX									
Effectifs aduc en KY									
Effectifs aduc en KZ									
Effectifs aduc en LA									
Effectifs aduc en LB									
Effectifs aduc en LC									
Effectifs aduc en LD									
Effectifs aduc en LE									
Effectifs aduc en LF									
Effectifs aduc en LG									
Effectifs aduc en LH									
Effectifs aduc en LI									
Effectifs aduc en LJ									
Effectifs aduc en LK									
Effectifs aduc en LL									
Effectifs aduc en LM									
Effectifs aduc en LN									
Effectifs aduc en LO									
Effectifs aduc en LP									
Effectifs aduc en LQ									
Effectifs aduc en LR									
Effectifs aduc en LS									
Effectifs aduc en LT									
Effectifs aduc en LU									
Effectifs aduc en LV									
Effectifs aduc en LW									
Effectifs aduc en LX									
Effectifs aduc en LY									
Effectifs aduc en LZ									
Effectifs aduc en MA									
Effectifs aduc en MB									
Effectifs aduc en MC									
Effectifs aduc en MD									
Effectifs aduc en ME									
Effectifs aduc en MF									
Effectifs aduc en MG									
Effectifs aduc en MH									
Effectifs aduc en MI									
Effectifs aduc en MJ									
Effectifs aduc en MK									
Effectifs aduc en ML									
Effectifs aduc en MM									
Effectifs aduc en MN									
Effectifs aduc en MO									
Effectifs aduc en MP									
Effectifs aduc en MQ									
Effectifs aduc en MR									
Effectifs aduc en MS									
Effectifs aduc en MT									
Effectifs aduc en MU									
Effectifs aduc en MV									
Effectifs aduc en MW									
Effectifs aduc en MX									
Effectifs aduc en MY									
Effectifs aduc en MZ									
Effectifs aduc en NA									
Effectifs aduc en NB									
Effectifs aduc en NC									
Effectifs aduc en ND									
Effectifs aduc en NE									
Effectifs aduc en NF									
Effectifs aduc en NG									
Effectifs aduc en NH									
Effectifs aduc en NI									
Effectifs aduc en NJ									
Effectifs aduc en NK									
Effectifs aduc en NL									
Effectifs aduc en NM									
Effectifs aduc en NN									
Effectifs aduc en NO									
Effectifs aduc en NP									
Effectifs aduc en NQ									
Effectifs aduc en NR									
Effectifs aduc en NS									
Effectifs aduc en NT									
Effectifs aduc en NU									
Effectifs aduc en NV									
Effectifs aduc en NW									
Effectifs aduc en NX									
Effectifs aduc en NY									
Effectifs aduc en NZ									
Effectifs aduc en OA									
Effectifs aduc en OB									
Effectifs aduc en OC									
Effectifs aduc en OD									
Effectifs aduc en OE									
Effectifs aduc en OF									
Effectifs aduc en OG									
Effectifs aduc en OH									
Effectifs aduc en OI									
Effectifs aduc en OJ									
Effectifs aduc en OK									
Effectifs aduc en OL									
Effectifs aduc en OM									
Effectifs aduc en ON									
Effectifs aduc en OO									
Effectifs aduc en OP									
Effectifs aduc en OQ									
Effectifs aduc en OR									
Effectifs aduc en OS									
Effectifs aduc en OT									
Effectifs aduc en OU									
Effectifs aduc en OV									
Effectifs aduc en OW									
Effectifs aduc en OX									
Effectifs aduc en OY									
Effectifs aduc en OZ									
Effectifs aduc en PA									
Effectifs aduc en PB									
Effectifs aduc en PC									
Effectifs aduc en PD									
Effectifs aduc en PE									
Effectifs aduc en PF									
Effectifs aduc en PG									
Effectifs aduc en PH									
Effectifs aduc en PI									
Effectifs aduc en PJ									
Effectifs aduc en PK									
Effectifs aduc en PL									
Effectifs aduc en PM									
Effectifs aduc en PN									
Effectifs aduc en PO									
Effectifs aduc en PP									
Effectifs aduc en PQ									
Effectifs aduc en PR									
Effectifs aduc en PS									
Effectifs aduc en PT									
Effectifs aduc en PU									
Effectifs aduc en PV									
Effectifs aduc en PW									
Effectifs aduc en PX									
Effectifs aduc en PY									
Effectifs aduc en PZ									
Effectifs aduc en QA									
Effectifs aduc en QB									
Effectifs aduc en QC									
Effectifs aduc en QD									
Effectifs aduc en QE									
Effectifs aduc en QF									
Effectifs aduc en QG									
Effectifs aduc en QH									
Effectifs aduc en QI									
Effectifs aduc en QJ									
Effectifs aduc en QK									
Effectifs aduc en QL									
Effectifs aduc en QM									
Effectifs aduc en QN									
Effectifs aduc en QO									
Effectifs aduc en QP									
Effectifs aduc en QQ									
Effectifs aduc en QR									



4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION

- a. Analyse de l'offre de formation initiale*
- b. Analyse de l'offre de formation continue*
- c. Les passerelles permises par l'offre de formation*
- d. Illustration de formation à l'international*

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

Synthèse – une offre ne permettant pas de répondre aux besoins en techniciens supérieurs et en ingénieurs

~30 formations
400 à 600
étudiants

De niveau Bac+5
spécialisés sur
l'électronique de
puissance

7 formations
professionnelles

De niveau Bac+3
formant des
techniciens
supérieurs

Aucune
formation

De niveau Bac à
Bac+2 permettant
de former des
techniciens

3 diplômes
1 000 formations

Adressant les
problématiques de
maintenance des
véhicules

À l'issue de l'analyse de l'offre de formation et de diplômes accessibles en formation initiale plusieurs constats peuvent être dressés :

1. **L'offre de formation de niveau Bac +5** (master et diplômes d'ingénieurs) permet de former entre 400 et 600 étudiants **spécialisés dans l'électronique de puissance** (dont 1/3 d'ingénieurs) ne **permettant pas de répondre aux besoins** de l'ensemble des acteurs de l'électromobilité.
2. **Des formations et diplômes de niveau Bac+5** n'adressant pas de manière centrale l'électronique de puissance **permettent de développer des compétences recherchées par les industriels** (mécatronique, mesures physiques, génie des matériaux, thermique...).
3. **Parmi les formations de niveau Bac+3, seules quelques licences professionnelles** adressent des domaines recherchés dans le cadre de l'électronique de puissance.
4. **Aucune formation de niveau Bac et Bac+2 ne permettent** selon les professionnels **d'intervenir sur de l'électronique de puissance**. Toutefois, le BUT GE2i, pourrait permettre de donner une place supplémentaire à l'électronique de puissance pour former des techniciens supérieurs.
5. **Les formations relatives à la maintenance des véhicules sont nombreuses** et couvrent les compétences actuellement demandées par le secteur aval de l'automobile (diagnostic de panne, changement de systèmes...).

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

Selon les professionnels, un manque de formations spécialisées et une problématique d'attractivité

Outre quelques formations, des formations généralistes ne permettant pas de répondre aux besoins en expertise des industriels

Un manque d'attractivité des formations en lien avec l'électronique de puissance

Un manque d'attractivité des secteurs de l'automobile et de l'électronique

Les formations de niveau Bac+2/3/5 sont majoritairement **généralistes** et visent à former des techniciens, techniciens supérieurs et ingénieurs disposant de compétences larges. Alors qu'elles ne proposent qu'un « vernis » relatif à **l'électronique de puissance**, ce domaine de l'électromobilité requière des compétences pointues (conception, fiabilité, intégration...) et des connaissances poussées sur plusieurs domaines (thermique, CEM, composants...) auxquelles elles ne permettent pas, pour la plupart, de répondre.

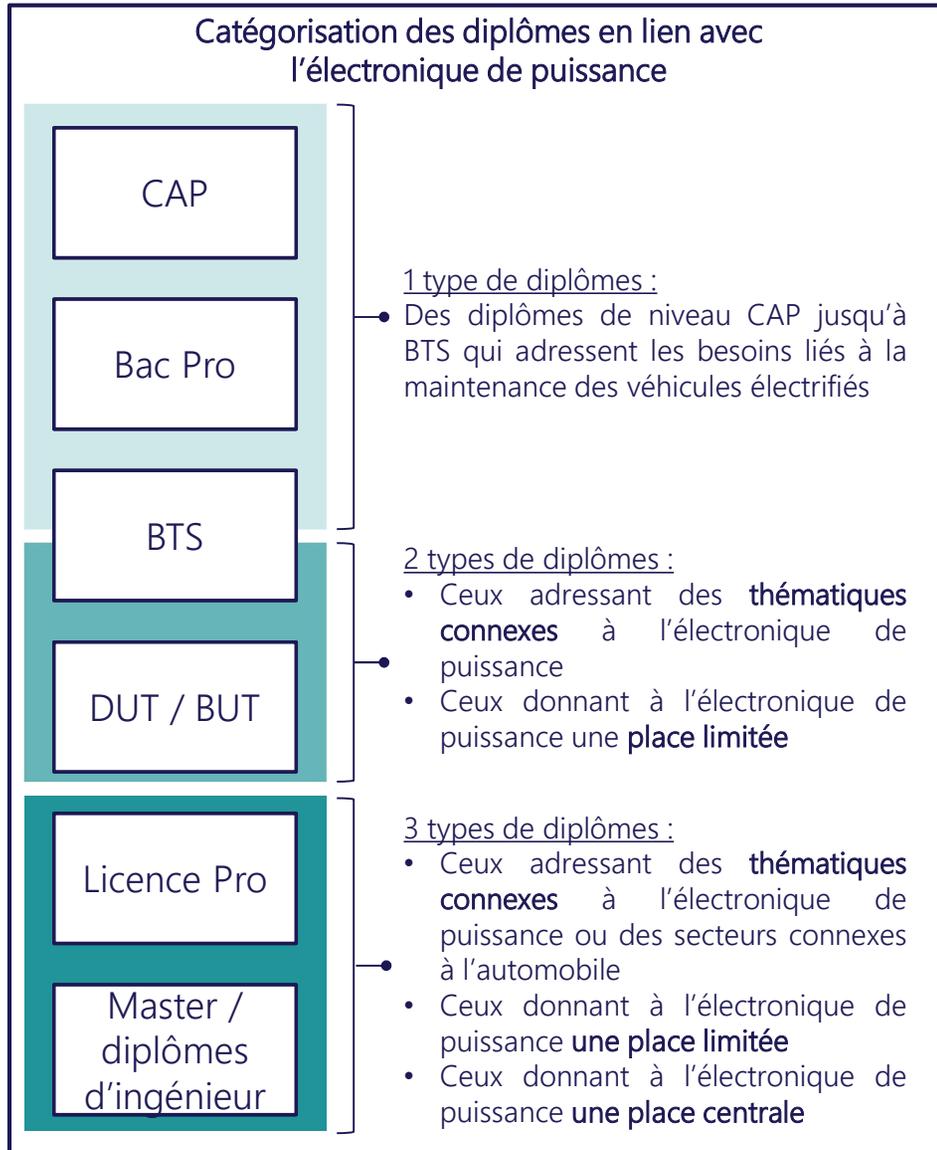
Les professionnels interrogés mettent également en avant le **fort aspect théorique des formations**, quel que soit leur niveau **au détriment des travaux pratiques** pourtant jugés essentiels pour la formation de techniciens et ingénieur en électronique de puissance.

Les professionnels et acteurs académiques interrogés ont souligné le **manque d'attractivité globale des formations techniques portant sur le hardware**. Celles-ci apparaissent peu nombreuses au regard des formations plus numériques en lien avec les systèmes embarqués, les véhicules connectés, l'internet des objets ou encore l'intelligence artificielle.

De la même manière, les professionnels et les acteurs académiques relèvent le **manque d'attractivité des filières de l'automobile et de l'électronique**. Alors que l'automobile et l'électronique pâtissent d'une image désuète, éloignée de la réalité, ces secteurs industriels font face à des salaires plus attractifs dans d'autres secteurs (aéronautique, tertiaire...).

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

4 typologies de diplômes adressant les problématiques de l'électronique de puissance dans l'électromobilité



4 types de diplômes adressant sur différents aspects les domaines de l'électronique de puissance sont identifiables.

- **Moins de 30 parcours de formation donnant une place centrale au domaine de l'électronique de puissance dans l'électromobilité**

Les formations et diplômes adressant de manière centrale les thématiques d'électronique de puissance dans le cadre de l'électromobilité automobile sont très peu nombreux. 27 parcours ont ainsi été recensés : 6 diplômes d'ingénieurs, 5 licences professionnelles et 16 masters.

- **Une centaine de formations et une cinquantaine de diplômes adressant des thématiques connexes à l'électronique de puissance**

Il existe par contre des formations appelées « connexes » allant du niveau BTS au niveau d'ingénieur. Elles adressent des domaines de compétences mobilisés par l'électronique de puissance (mécatronique, génie des matériaux...) ou des compétences en lien direct avec l'électronique de puissance, mais davantage portées sur d'autres secteurs que l'automobile (énergie, électricité...).

- **Plus de 600 formations et ~50 diplômes dont la place de l'électronique de puissance est limitée**

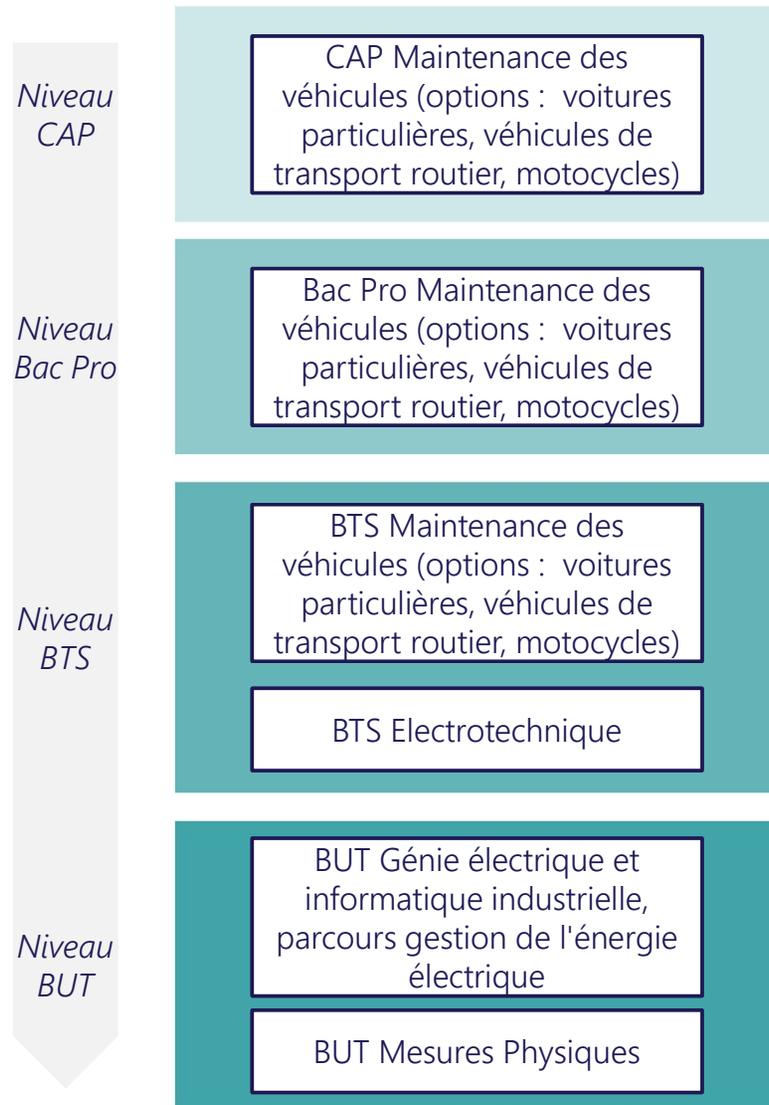
Des diplômes et des formations intègrent dans leurs programmes et contenus pédagogiques de l'électronique de puissance. Toutefois la place qui lui est consacrée est relative et ne permet pas aux diplômés d'exercer sur la chaîne de valeur de l'électronique de puissance dans l'électromobilité.

- **15 diplômes et plus de 900 formations dédiés à la maintenance automobile**

Des formations et des diplômes allant du niveau CAP au niveau BTS adressent les domaines liés à la maintenance des véhicules électrifiés.

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

L'offre de formations et de diplômes du CAP au BUT



- **3 diplômes allant du niveau CAP au niveau BTS et des FCIL adressant les besoins sur les métiers de la maintenance automobile**

Les besoins en maintenance des véhicules électrifiés sont couverts à différents niveaux de maîtrise par les CAP, Bac Pro et BTS en maintenance des véhicules. Ces diplômes représentent respectivement 344, 433 et 210 formations. Ces dernières permettent de développer des compétences relatives au fonctionnement des véhicules électrifiés, aux procédures de diagnostics et aux changements de sous-systèmes. Elles couvrent les besoins actuels pour les acteurs aval de l'automobile.

- **Un BTS en électrotechnique dont le contenu n'intègre pas suffisamment d'électronique de puissance**

Bien que ce BTS contienne des éléments relatifs à la conversion de courants électriques et aux différents systèmes de conversion (hacheurs, onduleurs, alternateurs), les professionnels interrogés estiment que le contenu relatif à l'électronique de puissance est trop peu développé pour répondre à leurs besoins en main-d'œuvre.

- **Un BUT Mesures Physiques dont les contenus peuvent servir dans l'électronique de puissance**

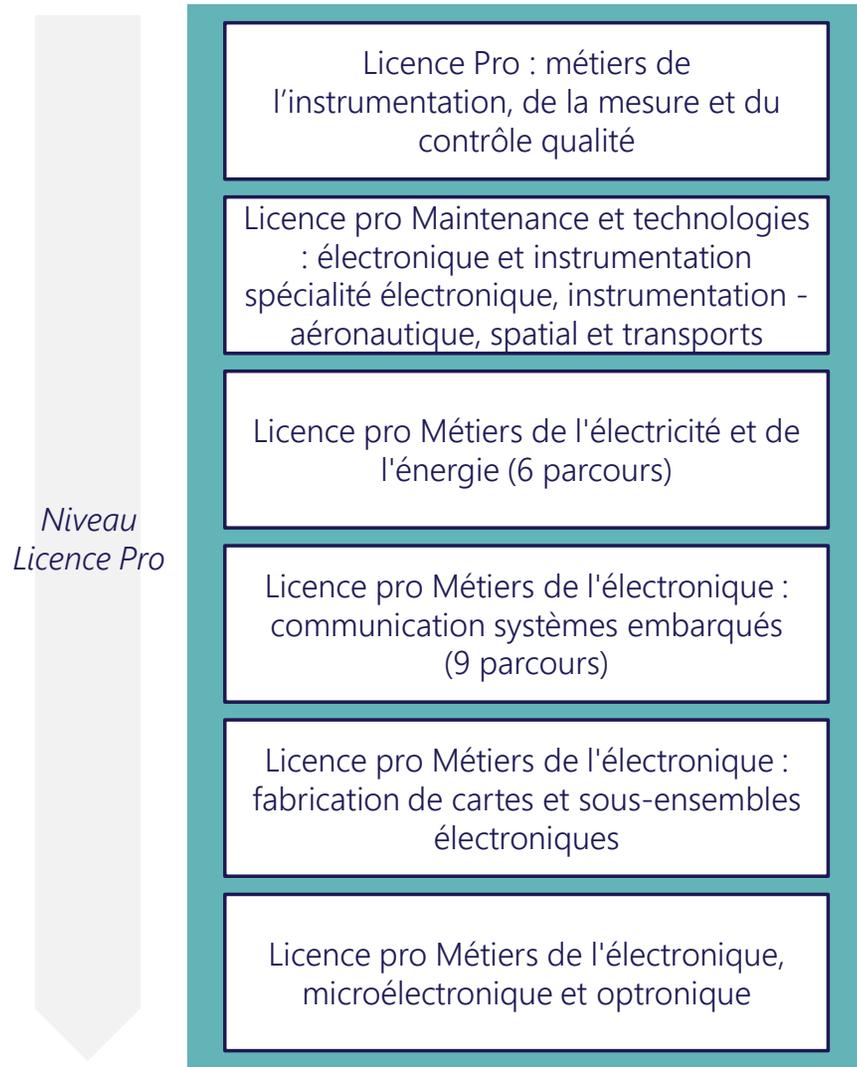
Le BUT MP permet de développer des compétences mobilisées dans le cadre de l'électronique de puissance bien que ce domaine ne soit pas abordé dans la formation. Ces compétences sont notamment la réalisation de tests et d'essai, la métrologie, transfert thermique, etc.

- **Un BUT GE2I dont le parcours gestion de l'énergie électrique pourrait répondre aux besoins en techniciens**

Ce diplôme forme des techniciens en études, tests et essais disposant de compétences en électrotechnique, systèmes électroniques et en conversion d'énergie. Les professionnels interrogés ont souligné que la formation en DUT nécessitait une année complémentaire pour former aux métiers de l'électronique de puissance. Le contenu en électronique de puissance demeure en effet limité (connaissance des convertisseurs, programmation de variateur, mais pas de réalisation de hacheur ou de convertisseur)

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

L'offre de formations et de diplômes en licence professionnelle



- **4 licences professionnelles pour lesquelles l'électronique de puissance est centrale dont l'électronique de puissance est centrale**

Seules 4 formations de niveau licence professionnelle accordent une place centrale à l'électronique de puissance : *Métiers de l'électricité et de l'énergie parcours Electrotechnique et électronique de puissance (IUT d'Aix-Marseille), Métiers de l'électricité et de l'énergie parcours Véhicule électrique et nouvelles mobilités (IUT Mantes en Yvelines), Métiers de l'électronique parcours Véhicules : Electronique et Gestion des Automatismes (IUT Belfort Montbéliard), Maîtrise de l'Energie, Electricité, Développement Durable parcours Systèmes de transports à énergie électrique (Université Le Havre Normandie).*

- **5 licences professionnelles permettent de développer des compétences mobilisées dans le cadre de l'électronique de puissance**

Les licences pro *Maintenance et technologies spécialité électronique, instrumentation - aéronautique, spatial et transports* et *Métiers de l'instrumentation, de la mesure et du contrôle qualité* permettent de développer des compétences en mesure, test pour et forment des techniciens de contrôle et test.

3 licences professionnelles portent sur la fabrication de cartes et de sous-ensembles électroniques. Elles permettent de répondre aux besoins des concepteurs et fabricants de cartes électroniques.

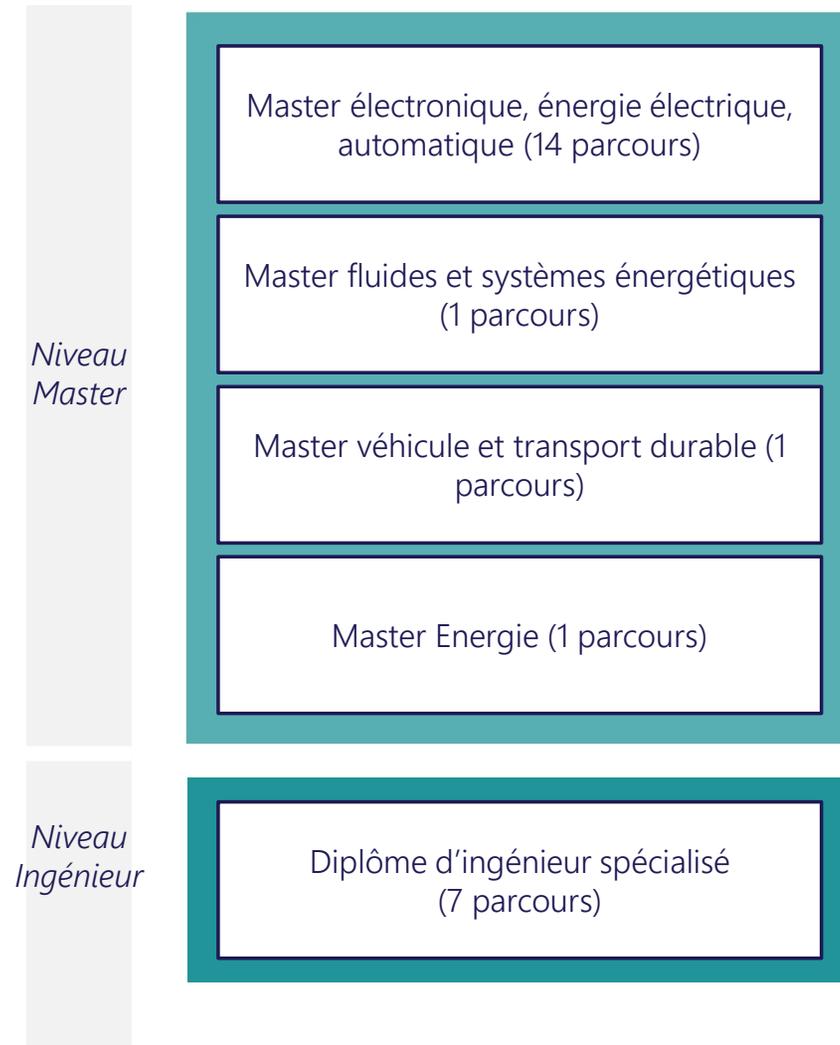
2 licences professionnelles permettent de former des techniciens avec des compétences en multiphysique et en mécatroniques également mobilisables par les équipementiers et constructeurs automobiles.

- **Parmi les licences pro métiers de l'électronique en communication et systèmes embarqués, une place limitée pour l'électronique de puissance**

14 formations de licence professionnelles en métiers de l'électronique avec la spécialité en communication et systèmes embarqués et en microélectronique, comportent quelques contenus en lien avec l'électronique de puissance. Celles-ci apparaissent toutefois insuffisantes pour former des spécialistes en électronique de puissance.

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

L'offre de formations et de diplômes d'ingénieurs et de master



- Une trentaine de formations de niveau master/ingénieur adressant de manière centrale les problématiques d'électronique de puissance

L'offre de formation au niveau Bac +5 se concentrant sur l'électronique de puissance est organisée autour de 4 grands pôles :

- **À Paris Saclay** le master véhicules et transport durable spécialité électrification et propulsion automobile est proposé par l'ENS et l'Université Paris-Saclay
- **À Toulouse**, l'INP Toulouse (ENSEEIH) et l'Université de Toulouse III proposent des parcours dont la place de l'électronique de puissance est centrale (Intégration et de puissance et Matériaux, Electronique de puissance, Actionneurs et Commande, Ingénieur spécialisé 3EA)
- **À Grenoble** l'Université Grenoble Alpes, Polytech Grenoble et l'INP Grenoble et l'ENS3E proposent des masters et des parcours d'ingénieurs en lien avec l'électronique de puissance et adressant les problématiques de composant, d'intégration et de conception de convertisseurs
- **À Lille**, l'École Centrale et l'Université de Lille proposent le master Electrical Energy for sustainable development

Aux côtés de ces pôles, une vingtaine de parcours (dont 6 en école d'ingénieur) sont centrés sur les problématiques d'électronique de puissance. Ces formations pourraient représenter entre 400 et 600 étudiants (dont un tiers d'ingénieurs).

- Plus de 100 formations adressant des problématiques connexes à l'électronique de puissance

Aux côtés de ces formations spécialisées, plusieurs masters et diplômes d'ingénieurs davantage généralistes permettent d'acquérir des compétences mobilisées par les industriels :

- Certains parcours en génie des matériaux et composants permettent de dimensionner des composants et abordent les composants grand gap
- ~10 parcours en mécatronique adressent des problématiques rencontrées par les équipementiers et constructeurs automobiles
- Certains parcours en électronique et systèmes embarqués ou en génie électrique intègrent des modules relatifs à l'électronique de puissance. Toutefois, ceux-ci sont souvent limités ou s'adressent davantage au secteur de l'énergie que le transport et l'automobile.

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

Le positionnement des établissements de formation

Anticipez-vous des besoins supplémentaires liés aux domaines de l'électronique de puissance dans l'électromobilité ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021



Un décalage entre les besoins des entreprises et la perception des besoins des établissements

Alors que les besoins en profils et en compétences en électronique de puissance chez les entreprises sont croissants, une majorité d'établissements interrogés n'anticipe pas de besoins supplémentaires. Le premier frein évoqué par ces derniers au développement d'une offre de formation relève d'un manque de remontées par les professionnels.

Une évolution des formations existantes privilégiée par les établissements

Mis à part les établissements ne prévoyant pas de faire évoluer leurs formations, l'évolution des formations existantes est privilégiée par rapport à la création de nouvelles formations.

Des problématiques de compétences et de moyens des établissements

Les établissements mettent en avant la rareté des compétences en électronique de puissance parmi les professeurs et l'importance des moyens nécessaires au développement de contenus en électronique de puissance.

Prévoyez-vous de développer de nouveaux contenus / formations ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021

- 1 Intégration de contenus dans les modules existants
- 2 Aucun développement
- 3 Intégration de modules spécifiques dans des formations existantes
- 4 Développement d'une offre à part entière

Quels sont les freins au développement de la formation en électronique de puissance ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021

- 1 Il n'y a pas de besoins remontés par les professionnels / Les moyens matériels à déployer sont trop importants
- 2 Les compétences chez les professeurs sont rares
- 3 Il y a des besoins exprimés, mais l'offre de formation y répond

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

Liens et actions pour faciliter l'adaptation de l'offre de formation aux besoins des entreprises

Quels liens directs entretenez-vous avec les entreprises ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021

- 1 Réunions d'échanges avec les entreprises pour identifier leurs besoins (26)
- 2 Intervention des entreprises lors de conférences (21)
- 3 Visites ou immersion des stagiaires en entreprises (19)
- 4 Projets éducatifs en collaboration avec des entreprises (16)
- 5 Double activité des formateurs (15)
- 6 Visites ou immersion des formateurs en entreprises (10)
- 7 Formation ou sensibilisation des formateurs par des professionnels (9)

Davantage de projets en commun pour adapter l'offre de formation aux besoins des entreprises

Alors que les établissements n'identifiaient pas de besoins particuliers en électronique de puissance, ceux-ci souhaitent développer des projets industriels avec les entreprises pour renforcer le caractère expérimental de leur formation. L'ouverture de plateformes technologiques pourrait également être valorisée pour renforcer cet aspect des formations.

Des réunions d'échanges à systématiser ainsi que la double activité des professionnels

Si les réunions sont le premier lien entre entreprises et établissements, ces derniers jugent que leur multiplication est la première action à mener pour faciliter l'adaptation de l'offre.

Par ailleurs, afin de bénéficier de compétences opérationnelles et actualisées, le recrutement de professionnels en tant que formateurs est également un axe à travailler selon les établissements.

Des réunions entre établissements et entreprises pour identifier leurs besoins en compétences

Les établissements interrogés organisent régulièrement des échanges avec les entreprises locales pour faire évoluer le contenu de leurs formations et mieux répondre aux besoins des entreprises. Dans les écoles d'ingénieurs, d'anciens étudiants peuvent être mobilisés pour faire évoluer l'offre.

Des liens entre étudiants et entreprises également privilégiés

Les établissements mettent également en place des actions pour rapprocher les étudiants du monde de l'entreprise par le biais de visites d'entreprises et de projets. Certains responsables de formations interrogés ont toutefois mis en avant quelques difficultés pour mobiliser les entreprises lors de ces projets et ces visites.

Quelles actions permettraient de faciliter l'adaptation de votre offre de formation aux besoins des entreprises ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021

- 1 Développer des projets industriels entre entreprises et acteurs de la formation (14)
- 2 Organiser des réunions entre entreprises et acteurs de la formation pour identifier leurs besoins (11)
- 3 Sensibiliser les professionnels à l'intérêt d'une activité de formateur/enseignant (10)
- 4 Ouvrir les plateformes technologiques et plateaux techniques aux acteurs de la formation (8)
Développer l'apprentissage (8)
Faciliter la formation des formateurs (8)



4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION

- a. Analyse de l'offre de formation initiale*
- b. Analyse de l'offre de formation continue*
- c. Les passerelles permises par l'offre de formation*
- d. Illustration de formation à l'international*

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION CONTINUE

Synthèse

Une offre de formation continue adressant les principaux domaines en lien avec l'électronique de puissance

Une offre qui demeure réduite avec un nombre limité d'OF

Des certifications permettant d'accéder à certains métiers de l'électronique de puissance

L'offre de formation continue relative à l'électronique de puissance couvre tous les niveaux de métiers mobilisés. Alors que les habilitations électriques ainsi que les formations en lien avec les techniques de brasage permettent de répondre aux besoins sur les métiers d'opérateur, des organismes spécialisés ainsi que les écoles d'ingénieurs disposent d'une offre de formation pour les techniciens, techniciens supérieurs et ingénieurs. Certains laboratoires permettent également d'accompagner les entreprises sur des problématiques précises en lien direct avec leurs besoins par le biais de formations sur-mesure.

Si l'offre de formation est couvrante, peu d'organismes de formation ont été recensés (mis à part pour les habilitations électriques). Le dimensionnement de l'offre de formation pourrait ainsi être limité au regard des besoins déclarés par les entreprises.

Outre les diplômes d'ingénieurs accessibles en formation continue, les CQPM et les Titres pro permettent de former sur des métiers en lien avec l'électronique de puissance. Toutefois, mis à part le CQPM de technicien en électronique de puissance, ces certifications ne sont pas spécialisées sur les problématiques de puissance et doivent ainsi être complétées par des formations complémentaires plus spécialisées autour de cette thématique.

LES ACTEURS DE LA FORMATION CONTINUE

Les écoles d'ingénieurs et laboratoires

LES ÉCOLES D'INGÉNIEUR

Exemples d'établissements : ENSTA, INP Toulouse, INP Grenoble, Centrale Supélec, ESIGE, ESTACA, CNAM, etc.

Les écoles d'ingénieur proposent deux types de formation accessibles au titre de la formation continue :

- **Les formations aux différents diplômes d'ingénieur** qu'elles proposent. La grande majorité des diplômes d'ingénieurs spécialisés ou en lien avec l'électronique de puissance proposés en formation initiale sont ainsi également accessibles en formation continue.
- **Des formations plus courtes** de 1 à 5 jours sur des thématiques en lien avec l'électronique de puissance et l'électromobilité (échanges thermiques, CEM, conception de convertisseurs...) et s'adressant à des publics de techniciens et d'ingénieurs.

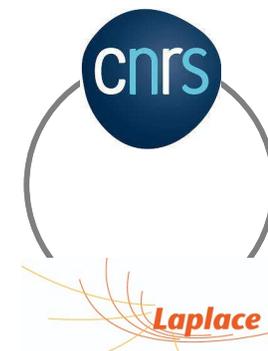


LES LABORATOIRES ET CENTRES DE RECHERCHE

Exemples d'établissements : CNRS, LAAS-LAPLACE, etc.

Certains laboratoires, en direct ou par le biais d'écoles d'ingénieurs ou d'établissements de formation associés, proposent des formations sur-mesure sur des sujets de pointe en lien avec leurs expertises aux entreprises.

Le CNRS développe ainsi une offre de formations sur-mesure à destination des entreprises industrielles (automobile, électronique...) en s'appuyant sur les thématiques de recherche de ses départements (caractérisation des matériaux, mise en œuvre des traitements, hautes tensions pour la conversion...).



LES ACTEURS DE LA FORMATION CONTINUE

Les organismes de formation traditionnels

LES ORGANISMES DE FORMATION TRADITIONNELS

- Les organismes dispensant des formations longues et certifiantes

Exemples d'établissements : UIMM Pôle Formation Bretagne, AFORP, AFPI Franche-Comté, AFPA, GRETA, etc.

Les formations certifiantes accessibles en formation continue (CQPM, Titres Pro, BTS, Bac Pro...) sont accessibles dans des organismes de formation spécialisés dans la formation professionnalisante. Ces organismes dispensent également des formations plus courtes sur des problématiques en lien avec l'électronique de puissance (bases de l'électronique de puissance, motorisation des véhicules électriques...).

- Les organismes spécialisés dans les habilitations électriques

Exemples d'établissements : APAVE, CEPIM, AFPA, etc.

L'électronique de puissance suppose pour les activités de montage et d'essai notamment d'être formé à la manipulation d'électricité à un haut niveau de puissance. Les habilitations électriques, dont certaines spécialisées pour les véhicules hybrides et automobiles; sont accessibles dans de nombreux organismes de formation.

- Les organismes de formation dispensant des formations plus spécialisées sur l'électronique de puissance et autour de thématiques connexes

Exemples d'établissement : Proformalys, Framatech, SERMA Group, Eurosae, Move.B, Institut des ressources industrielles

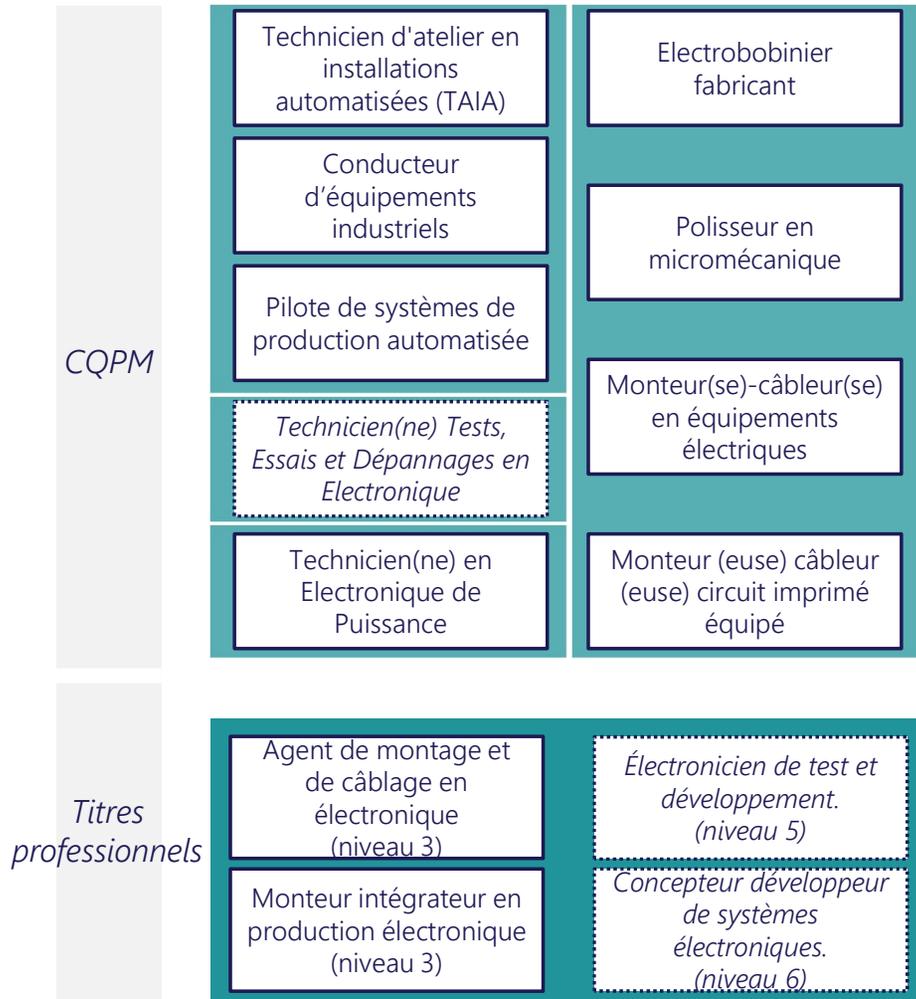
Plusieurs organismes de formation proposent des formations en lien avec l'électronique de puissance notamment dans l'électromobilité. Ces organismes proposent des formations allant de la présentation de l'électronique de puissance pour des profils de techniciens et d'ingénieurs, à des formations plus pointues (CEM, inductance, composants de puissance...).

Aux côtés de ces organismes « traditionnels » certains acteurs plus institutionnels (Captronic, S2E2...) proposent ponctuellement des formations en lien avec l'électronique de puissance (intégration système, microcontrôleurs...).



ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION CONTINUE

Analyse de l'offre des CQPM et des titres professionnels disponibles



- 4 types de CQPM permettant d'adresser certains besoins en métiers et compétences de niveau opérateur et techniciens

Un premier groupe de CQPM constitué des certifications de technicien d'atelier en installations automatisées, de conducteur d'équipements industriels ou encore de pilote de systèmes de production automatisée permet d'adresser les besoins en compétences sur les pilotes de ligne des constructeurs qui n'ont pas de besoins en compétences électroniques.

Le CQPM de technicien(ne) tests, essais et dépannages en électronique, permet d'adresser les besoins en métier de technicien test. Toutefois, les exigences importantes de fiabilité ainsi que la diversité des mesures physiques à maîtriser dans l'électronique de puissance (thermique, électricité, vibration, fréquence, CEM...) peuvent le rendre difficilement utilisable.

Le CQPM de technicien(ne) en électronique de puissance permet de répondre aux besoins sur le niveau de technicien (conception, test, essai...) des équipementiers, constructeurs et acteurs de la filière électronique.

4 CQPM (électrobobinier, polisseur, monteur câbleur) adressent les besoins en opérateur de production chargé de l'assemblage des cartes et des systèmes et sous-systèmes d'électronique de puissance.

- 4 titres professionnels pouvant adresser les besoins en électronique de puissance

Outre les deux titres relatifs au montage de systèmes et sous-systèmes électroniques, il existe un TP relatif au test et un TP relatif à la conception de systèmes. Toutefois les compétences multiphysiques à maîtriser pour ces deux activités dans l'électronique de puissance rendent ces certifications peu adéquates.

- Une absence de certification pour les opérateurs en salle blanche

Aucune certification relative au métier d'opérateur en salle blanche n'a été identifiée. Une telle certification pourrait couvrir les besoins des industriels électroniques qui peinent à trouver des compétences en électrotechnique, en contrôle des composants ou encore en sécurité liée à l'électricité.

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION CONTINUE

Le positionnement des organismes de formation

Anticipez-vous des besoins supplémentaires liés aux domaines de l'électronique de puissance dans l'électromobilité ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021



Des organismes qui ne prévoient pas de développer d'offre spécifique sur l'électronique de puissance

Bien que les besoins des entreprises soient en croissance sur les métiers en lien avec l'électronique de puissance, une majorité des OF interrogés ne prévoit pas de développer une offre nouvelle du fait d'une absence des besoins remontés par les professionnels.

Des formations existantes permettant de répondre aux besoins

Parmi les organismes proposant des formations en lien avec l'électronique de puissance, une part importante juge que l'offre répond actuellement aux besoins des entreprises. De ce fait, parmi celles souhaitant développer une nouvelle offre, l'intégration de contenus ou de modules spécifiques dans les formations existantes sont les pistes privilégiées au détriment de la création de nouvelles formations.

Prévoyez-vous de développer de nouveaux contenus / formations ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021

- 1 *Aucun développement*
- 2 *Intégration de contenus dans les modules existants*
- 3 *Intégration de modules spécifiques dans des formations existantes*
- 4 *Développement d'une offre à part entière*

Quels sont les freins au développement de la formation en électronique de puissance ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021

- 1 *Il n'y a pas de besoins remontés par les professionnels*
- 2 *Il y a des besoins, mais les formations existantes permettent d'y répondre*
- 3 *Les compétences chez les formateurs sont rares / les moyens à déployer sont trop importants*

ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION CONTINUE

Liens et actions pour faciliter l'adaptation de l'offre de formation aux besoins des entreprises

Quels liens directs entretenez-vous avec les entreprises ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021

- 1 Réunions d'échanges avec les entreprises pour identifier leurs besoins (26)
- 2 Intervention des entreprises lors de conférences (19)
- 3 Visites ou immersion des stagiaires en entreprises (15)
- 4 Double activité des formateurs (14)
- 5 Projets éducatifs en collaboration avec des entreprises (12)
- 6 Visites ou immersion des formateurs en entreprises (11)
- 7 Formation ou sensibilisation des formateurs par des professionnels (10)

Des organismes de formation intéressés par des échanges plus continus avec les entreprises

Si l'organisation de réunions avec les entreprises pour faciliter l'identification de leurs besoins est le deuxième type d'action privilégiée par les OF, ces derniers sont également tournés vers des liens plus continus par le biais de projets industriels communs.

Un enjeu autour des formateurs

Les organismes de formation se positionnent également pour renforcer les compétences de leurs formateurs par le biais de leur formation, mais également par le développement des doubles activités pour les professionnels travaillant dans l'électronique de puissance.

Des liens directs reposant avant tout sur des relations commerciales

Du fait de leur positionnement et de leur activité commerciale, les organismes de formation ont des liens directs avec les entreprises par le biais de réunions permettant d'identifier leurs besoins. Les conférences sont également des moments permettant de mieux connaître leurs besoins.

Des liens plus étroits avec les entreprises davantage en retrait

Si certains formateurs ont une double activité (professionnelle et formation), les échanges plus étroits par le biais de projets communs, de formation des formateurs par des professionnels ou d'immersion de ces derniers dans les entreprises sont plus rares.

Quelles actions permettraient de faciliter l'adaptation de votre offre de formation aux besoins des entreprises ?

Source : enquête en ligne, KYU, 2021

- 1 Développer des projets industriels entre entreprises et acteurs de la formation (15)
- 2 Organiser des réunions entre entreprises et acteurs de la formation pour identifier leurs besoins (11)
- 3 Sensibiliser les professionnels à l'intérêt d'une activité de formateur/enseignant (10)
- 4 Faciliter la formation des formateurs (9)
- 5 Développer l'apprentissage (9)
- 6 Ouvrir les plateformes technologiques et plateaux techniques aux acteurs de la formation (5)



4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION

- a. Analyse de l'offre de formation initiale*
- b. Analyse de l'offre de formation continue*
- c. Les passerelles permises par l'offre de formation*
- d. Illustration de formation à l'international*

LES PASSERELLES PERMISES PAR L'OFFRE DE FORMATION

Peu de passerelles aujourd'hui effectives

20% des emplois de l'automobile menacés par le développement des véhicules électriques

Source : Observatoire des métiers de la métallurgie, 2018

Des compétences et expertises de l'automobile mobilisables dans l'électronique de puissance

Peu d'expériences concrètes de passerelles entre métiers à risque et métiers de l'électronique de puissance

Une électrification des véhicules générant une diminution des besoins en métiers liés à la motorisation traditionnelle

La fabrication de véhicules à combustion fossile nécessite davantage de personnes que pour la fabrication de véhicules électriques. Plusieurs métiers et compétences seront ainsi moins mobilisés avec l'électrification des véhicules :

- Usinage de précision
- Traitement de surface des métaux
- Fonte d'acier
- Montage mécanique
- Conception et fabrication de calculateurs d'injection diesel...

Peu de passerelles effectives aujourd'hui entre ces métiers, mais des passerelles potentielles à développer

Certaines compétences en lien avec ces activités pourraient être remobilisées sur des activités en lien avec l'électronique de puissance.

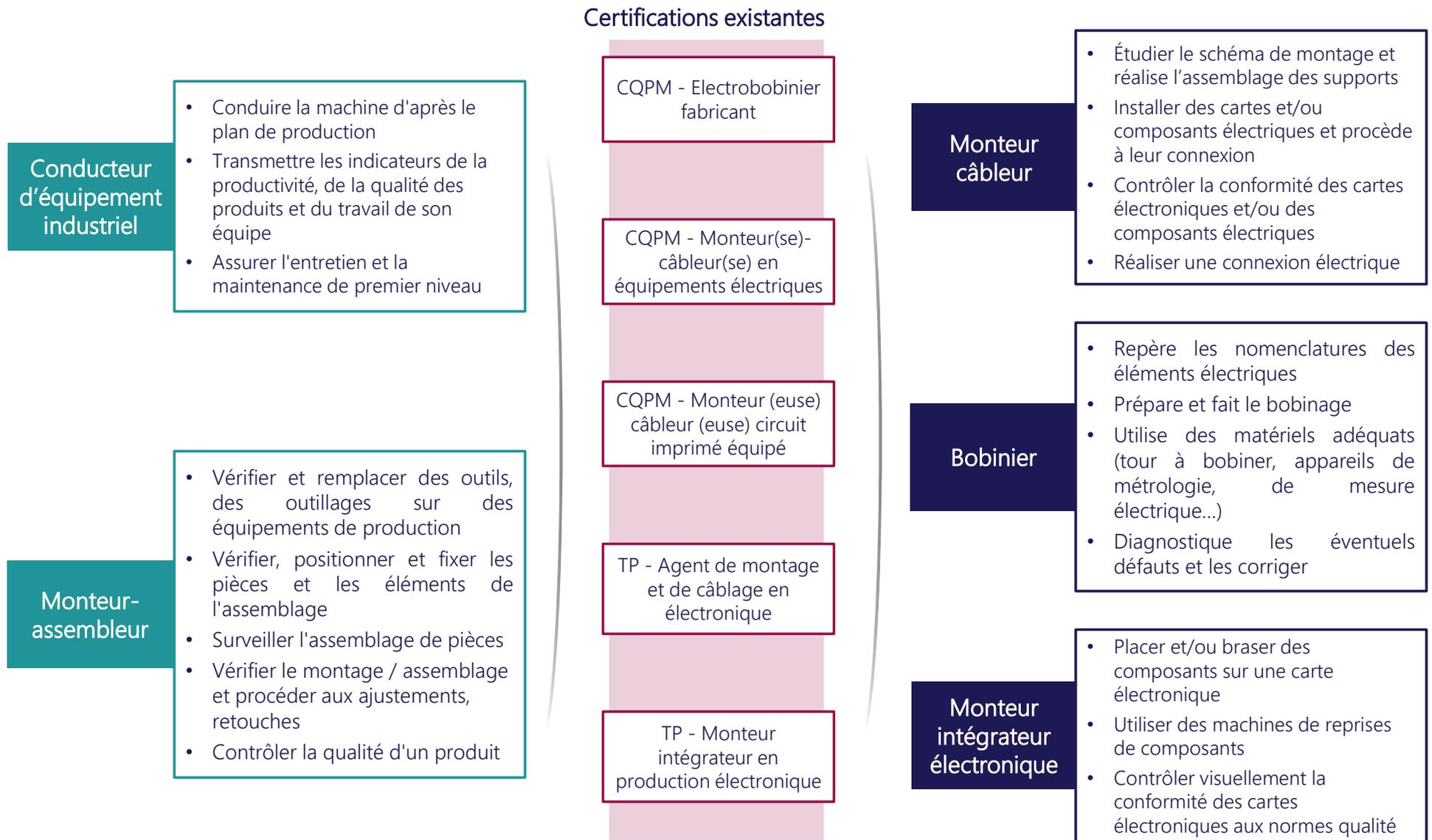
- La **connaissance des procédés de fabrication et des problématiques de cadence et de contrôle** développée dans l'industrie automobile pourrait être remobilisée dans l'industrie électronique
- Les **compétences de mesure et d'analyse de compatibilité électromagnétique et de gestion thermiques** sont mobilisées par l'ensemble des acteurs de la chaîne de l'électronique de puissance
- Les **compétences en conception et fabrication de pièces électromécaniques** peuvent être remobilisées dans la conception et la fabrication des éléments de commande électronique
- Les **métiers d'assemblage dans l'automobile** avec des compétences en mécanique pourraient être mobilisés en tant que monteur-câbleur au sein des fabricants de PCB à la recherche de compétences en mécaniques. Des compétences en test et mesure pourraient être à développer.

Toutefois :

- Peu de passerelles effectivement mises en place entre ces métiers ont pu être identifiées.
- Les besoins en emplois dans l'électronique de puissance ne couvrent pas les 15 000 emplois liés au diesel menacés dans l'automobile (source : PFA, 2019)

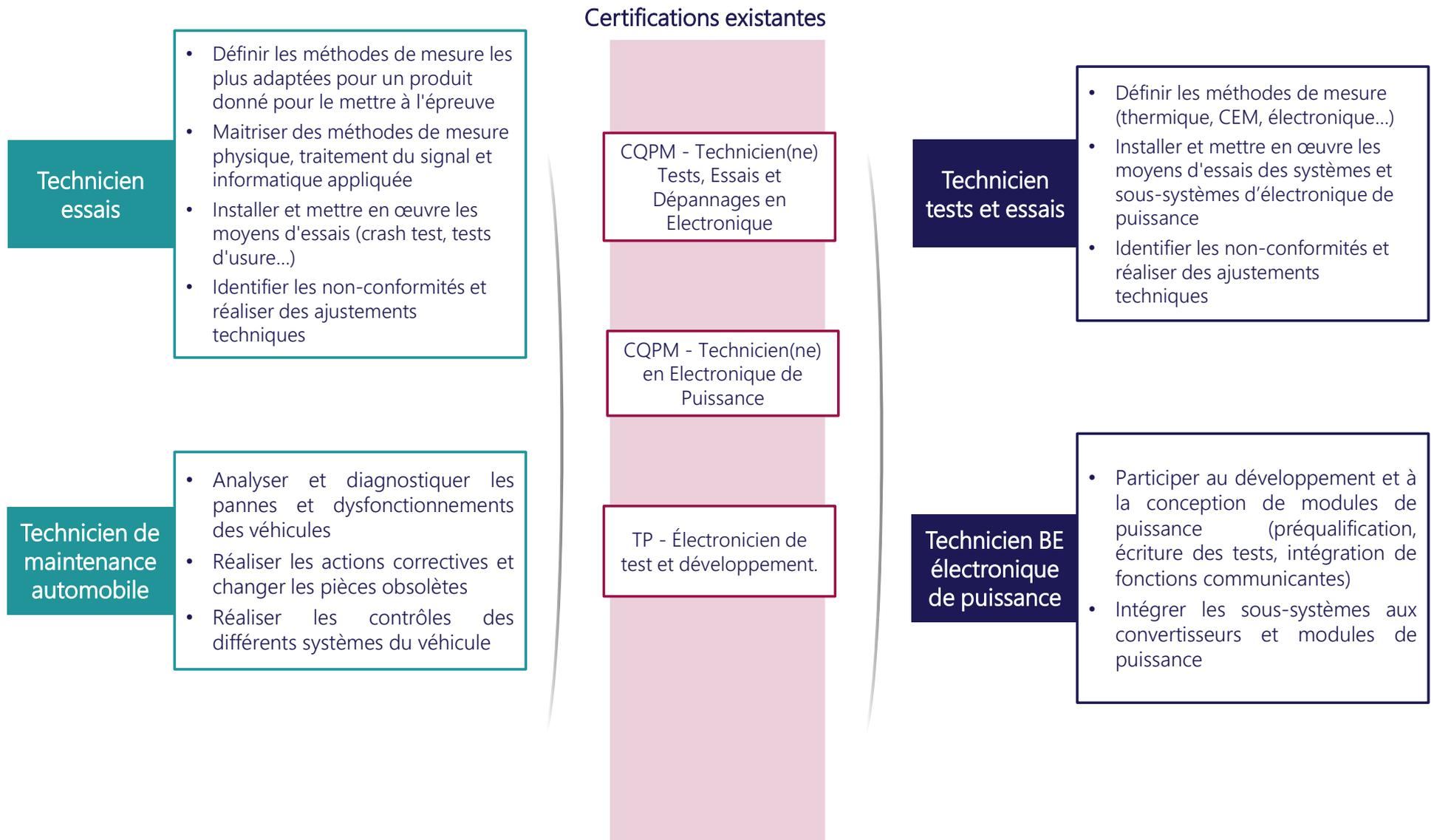
LES PASSERELLES PERMISES PAR L'OFFRE DE FORMATION

Les passerelles envisageables pour les opérateurs



LES PASSERELLES PERMISES PAR L'OFFRE DE FORMATION

Les passerelles envisageables pour les techniciens



LES PASSERELLES PERMISES PAR L'OFFRE DE FORMATION

Les dispositifs de reconversion mobilisables

Plusieurs dispositifs permettent de financer des reconversions et peuvent être mobilisés dans le cadre des parcours décrits en amont.

Le congé de reclassement

Le congé de reclassement est accessible pour les salariés d'entreprise de plus de 1 000 salariés auxquels a été proposé un licenciement pour motif économique. D'une durée de 4 à 24 mois, ce congé permet de bénéficier d'une formation et d'un accompagnement d'aide à la recherche d'emploi, tous deux financés par l'entreprise.

Le congé de mobilité permet aux salariés d'entreprises de plus de 300 personnes de bénéficier de mesures d'accompagnement et d'actions de formation tout en étant rémunérés par son entreprise. L'entreprise bénéficie d'une exonération de cotisations sociales sur cette prise en charge.

Le congé de mobilité

Le Compte personnel de formation de transition

Le CPF de transition complète le compte personnel de formation des salariés qui souhaitent réaliser une transition professionnelle pour se reconvertir dans un nouveau métier. Il permet ainsi de financer des formations longues et certifiantes.

Ce dispositif permet aux salariés en CDI qui justifient d'une activité professionnelle d'au moins 5 ans de démissionner tout en bénéficiant de l'allocation chômage pour concrétiser un projet professionnel (reconversion, création d'entreprises...).

Le dispositif démissionnaire

Transitions collectives

Le dispositif de transition collective s'adresse aux entreprises dont certains métiers sont fragilisés en leur permettant d'accompagner les salariés dans leur reconversion vers des métiers avec des besoins en recrutement. L'État finance tout ou une partie de ce projet de reconversion.



4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION

- a. Analyse de l'offre de formation initiale*
- b. Analyse de l'offre de formation continue*
- c. Les passerelles permises par l'offre de formation*
- d. Illustration de formation à l'international*

ILLUSTRATION DE LA FORMATION À L'INTERNATIONAL

En Chine



1

Des moyens conséquents pour à la formation de chercheurs et d'ingénieurs électroniques et automobiles

2

Des centres de formation continue pour accompagner l'implantation d'industriels

La Chine dispose du **système d'enseignement supérieur le plus important du monde** : près de 3 000 universités et 20 millions d'étudiants. Celui-ci est **tiré par 9 universités (C9 league)** qui reçoivent près de 10% des dépenses nationales dédiées à la recherche alors qu'elles ne représentent que 3% des chercheurs.

La **place consacrée à l'électronique est particulièrement importante**. Alors que majorité des universités de la *C9 league* disposent d'un département en sciences et ingénierie électronique, plusieurs universités de moindre rang sont spécialisées dans l'électronique (*University of electronic science and technology of China*) ou l'automobile (*Hubei University of automotive technology*).

Les experts interrogés mettent en avant **les moyens dédiés et les capacités d'enseignement du pays pour expliquer les compétences importantes du pays en électronique de puissance** notamment dans l'automobile.

À l'instar du projet de parc industriel à Haining, la Chine réalise des **centres de formation dans des zones à forte densité industrielle pour mutualiser les besoins en formation des acteurs privés**. Ces centres de formation permettent de former des techniciens et des opérateurs supérieurs pour les besoins des industriels implantés dans la zone.

À Haining, le parc vise à attirer l'implantation d'industriels français. Le centre de formation ainsi été réalisé avec l'appui de l'UIMM et se base sur les formations françaises de pilote de systèmes de production automatisée.

ILLUSTRATION DE LA FORMATION À L'INTERNATIONAL

En Allemagne



1

Un type de formation dédié à l'enseignement pratique et aux applications industrielles

2

Des instituts permettant une synergie entre recherche, enseignement et industrie

3

Une mutualisation de la recherche entre industriels sur l'électronique de puissance

Le système d'enseignement supérieur allemand est divisé entre les universités et les universités de sciences appliquées (*Fachhochschule*). Ce système dual permet de former des chercheurs aux compétences théoriques fortes et des ingénieurs spécialisés disposant d'un bagage pratique important. Le modèle des universités de sciences appliquées permet à ces derniers de se confronter rapidement aux problématiques industrielles en lien avec des domaines techniques comme l'électronique de puissance.

L'Allemagne dispose de plusieurs instituts – dont l'un des plus importants est l'institut Fraunhofer avec 29 chercheurs et ingénieurs – dédiés à la recherche appliquée. Leur mode de financement (à plus de 80% privé) et de fonctionnement permet de multiplier les projets entre chercheurs et industriels sur des sujets clefs comme l'électronique de puissance.

Les acteurs allemands de l'électronique de puissance font pour la plupart partie de l'ECPE (*European Center for Power Electronics*), réseau d'instituts de recherche, d'enseignants et d'industriels engagés dans la mutualisation et le développement de l'électronique de puissance.

Ce réseau permet d'organiser des programmes de formation et des ateliers de travail entre les différents acteurs, de mutualiser les projets de recherche et les travaux réalisés par ses membres et de coordonner ces acteurs sur des thématiques précises en animant des groupes de travail (*Automotive power module qualification, Power semiconductor reliability for railway applications*).

- 
- 1 MÉTHODE ET OBJECTIF
 - 2 L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ
 - 3 LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE
 - 4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION
 -  5 ÉLABORATION DE PISTES D'ACTION
 - 6 ANNEXES

4 GRANDS ENJEUX IDENTIFIÉS

1

AUGMENTER LE VIVIER DE CANDIDAT EN DÉVELOPPANT L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

3 objectifs

- *Créer des formations répondant aux besoins*
- *Adapter l'offre de formation existante*
- *Promouvoir les métiers et des formations au sein des établissements et des écoles*

2

ELARGIR LE VIVIER DE RECRUTEMENT DES ENTREPRISES PAR LE BIAIS DE LA FORMATION CONTINUE

3 objectifs

- *Adapter l'offre de formation continue*
- *Promouvoir les passerelles théoriques possibles pour faciliter la réalisation des passerelles*
- *Promouvoir les dispositifs pour faciliter les reconversions*

3

DÉPLOYER UNE STRATÉGIE INDUSTRIELLE GLOBALE

3 objectifs :

- *Développer les liens entre les donneurs d'ordre automobiles et les industriels de l'électronique*
- *Rapprocher les centres technologiques et laboratoires des acteurs industriels*
- *Etendre l'analyse des besoins en électronique de puissance à d'autres secteurs*

4

RÉPONDRE AUX ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ET INTÉGRER LES ENJEUX DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

2 objectifs

- *Adapter l'offre de formation continue*
- *Soutenir les projets technologiques portant sur les enjeux techniques de l'électronique de puissance dans l'électromobilité*

ENJEU 1 : AUGMENTER LE VIVIER DE CANDIDAT EN DÉVELOPPANT L'OFFRE DE FORMATION INITIALE

1. **L'offre de formation en Bac +5** ne permet pas de former assez d'ingénieurs spécialisés en l'électronique de puissance. Si des formations permettent de développer des compétences connexes (mécatronique, mesures ...), la plupart sont généralistes.
2. **Parmi les formations de niveau Bac+3** seules quelques licences professionnelles ont été recensées.
3. **Aucune formation de niveau Bac et Bac+2** ne permettent selon les professionnels d'intervenir sur de l'électronique de puissance.
4. **3 problématiques communes :**
 - Outre quelques formations, des formations généralistes ne permettant pas de répondre aux besoins en expertise des industriels
 - Un manque d'attractivité des formations en lien avec l'électronique de puissance
 - Un manque d'attractivité des secteurs de l'automobile et de l'électronique

Les pistes d'action pour y répondre

- *Objectif 1 : Créer des formations répondant aux besoins*
- *Objectif 2 : Adapter l'offre de formation existante*
- *Objectif 3 : Promouvoir les métiers et des formations au sein des établissements*



1. Promouvoir les besoins d'intégrer davantage d'électronique de puissance dans la formation initiale auprès des instances ministérielles régionales (rectorat) et nationales (Commissions Professionnelles Consultatives)
2. Déployer une campagne de communication auprès des prescripteurs de la formation dans les établissements et les écoles
3. Participer à la définition de nouvelles formations dans les campus des métiers et des qualifications

ACTION 1 : PROMOUVOIR LES BESOINS D'INTÉGRER DAVANTAGE D'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE DANS LA FORMATION INITIALE AUPRÈS DES INSTANCES MINISTÉRIELLES

Alors que les besoins en compétence en électronique de puissance sont amenés à croître dans les filières industrielles de l'électronique et de l'automobile, l'offre de formation initiale intègre peu de contenu relatif à ce domaine. Le développement de ces contenus dans les diplômes existants ou dans de nouveaux diplômes permettrait de renforcer les compétences en électronique de puissance des diplômés et, d'autre part, d'attirer davantage de personnes dans les formations spécialisées de niveau supérieur, en les acculturant à ce domaine industriel.

Au niveau national : Promouvoir les besoins en métiers et en compétence en électronique de puissance dans les CPC



Organisations professionnelles, Acteurs du programme électronique de puissance

- 1 Identifier / désigner les personnes en charge de représenter les filières de l'électronique et de l'automobile au sein de la CPC Industrie
- 2 Organiser une réunion auprès des représentants des filières dans la CPC Industrie pour leur présenter les enjeux en lien avec l'électronique de puissance (recrutement, contenu des diplômes, technologies...)
- 3 Présenter en CPC les conclusions de l'étude relative aux besoins en métiers et en compétences en électronique de puissance liée au développement de l'électromobilité.
- 4 Proposer en CPC l'intégration de contenus supplémentaires en lien avec l'électronique de puissance dans les diplômes existants (BUT GE2I, BTS Electrotechnique...)

Au niveau régional : Promouvoir les besoins en compétence en électronique de puissance auprès des rectorats



Organisations professionnelles, Acteurs du programme électronique de puissance

- 1 Dans les régions présentant une forte présence des acteurs de l'électronique de puissance (Ile-de-France, Auvergne-Rhône-Alpes, Pays de la Loire...), identifier les académies dont le périmètre géographique est le plus en lien avec l'activité industrielle d'électronique de puissance (ex. : académie de Grenoble)
- 2 Identifier dans ces académies les interlocuteurs privilégiés pour faire évoluer les formations (*Direction régionale académique à la formation professionnelle initiale et continue – DRAFPIC, Direction régionale à l'enseignement supérieur, à la recherche et à l'innovation - DRESRI...*)
- 3 Organiser des réunions de sensibilisation aux enjeux d'électronique de puissance avec ces interlocuteurs afin de leur présenter les actuels et futurs besoins en compétences et en métier liés à ce domaine technologique.

ACTION 2 : DÉPLOYER UNE CAMPAGNE DE COMMUNICATION AUPRÈS DES PRESCRIPTEURS DE LA FORMATION DANS LES ÉTABLISSEMENTS ET LES ÉCOLES

Alors que la formation relative à l'électronique de puissance applicable dans l'automobile pâtit d'un manque d'attractivité et de visibilité auprès des étudiants, les industries automobile et électronique font également face à un déficit d'attractivité au regard d'autres secteurs. La valorisation de l'électronique de puissance et de ses perspectives d'emploi auprès des prescripteurs dans les écoles et établissements pourrait combler ce déficit.



Organisations professionnelles, Acteurs du programme électronique de puissance

Volet 1

1

Identifier les écoles et les établissements proposant des formations spécifiques à l'électronique de puissance à l'aide de la cartographie réalisée.

2

Organiser, en partenariat avec des entreprises, des réunions de présentation de l'électronique de puissance (conférence d'experts, témoignages métiers, présentation des débouchés et des besoins en recrutement dans l'électronique et l'automobile...) à destination des élèves et des étudiants.

Volet 2

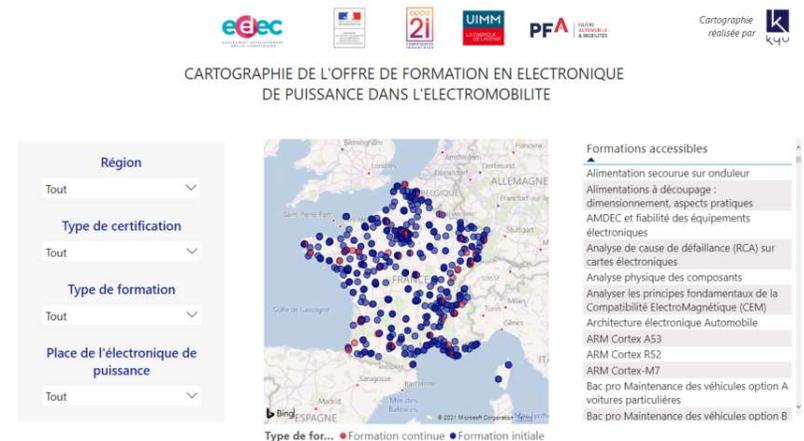
1

Identifier les écoles et les établissements proposant des formations non spécifiques à l'électronique de puissance à l'aide de la cartographie réalisée.

2

Organiser des réunions de présentation de l'électronique de puissance à destination des professeurs et des conseillers d'orientation (enjeux technologiques, besoins en recrutement...)

Cartographie de l'offre de formation en électronique de puissance dans l'électromobilité



ACTION 3 : PARTICIPER À LA DÉFINITION DE NOUVELLES FORMATIONS DANS LES CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS

Les campus des métiers et des qualifications (CMQ) participent à la création et à l'adaptation de la formation initiale grâce aux liens qu'ils entretiennent avec les entreprises. Toutefois, certains CMQ expriment des difficultés pour identifier des entreprises parties prenantes dans la constitution de nouvelles formations en lien avec l'électronique de puissance.



Organisations professionnelles, Acteurs du programme électronique de puissance, Pôles de compétitivité

- 1 Identifier, en s'appuyant sur les Pôles de compétitivité, parmi les entreprises déjà engagées dans le domaine de l'électronique de puissance, celles disposant de ressources pour appuyer les CMQ.
Contacter les responsables des CMQ dont la spécialité peut intégrer le domaine de l'électronique de puissance, afin d'identifier ceux ayant eu des remontées de besoins en formation de la part d'entreprise et/ou ceux s'étant engagés dans le développement d'une offre de formation en électronique de puissance.
- 2 Mettre en relation les entreprises et les campus identifiés afin de présenter aux premières l'opportunité que représentent les CMQ pour leurs besoins en recrutement et en compétences.
- 3 Identifier d'éventuelles aides financières pour augmenter les moyens des CQM et des entreprises dans la définition des besoins en compétences et des moyens pédagogiques nécessaires (label campus d'excellence...)

Les CMQ Mobilités, aéronautiques, transports terrestres et maritimes les plus pertinents

 **CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS**
Automobile et mobilités du futur
Bourgogne-Franche-Comté

 **CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS**
Propulsions, matériaux et systèmes embarqués
Normandie

 **CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS**
Ferroviaire, industrie de l'automobile et écomobilité
Hauts-de-France

 **CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS**
Conception et construction automobile
Île-de-France

Les CMQ Transition énergétique, éco-industrie les plus pertinents

 **CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS**
Transition énergétique
Corse

 **CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS**
Grenoble Énergies Campus
Auvergne-Rhône-Alpes

 **CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS**
Transition énergétique
Occitanie

 **CAMPUS DES MÉTIERS ET DES QUALIFICATIONS**
Énergies et efficacité énergétique
Normandie

ENJEU 2 : ELARGIR LE VIVIER DE RECRUTEMENT DES ENTREPRISES PAR LE BIAIS DE LA FORMATION CONTINUE

1. **Une offre de formation continue adressant les principaux domaines en lien avec l'électronique de puissance** : Les habilitations électriques et les formations en brasage répondent aux besoins sur les métiers d'opérateur. Des organismes spécialisés ainsi que les écoles d'ingénieurs ont une offre de formation pour les techniciens, techniciens supérieurs et ingénieurs. Certains laboratoires accompagnent les entreprises sur des problématiques précises.
2. **Une offre qui demeure réduite avec un nombre limité d'OF** : Le dimensionnement de l'offre de formation pourrait ainsi être limité au regard des besoins déclarés par les entreprises. La majeure partie des OF interrogés ne comptent pas développer une offre nouvelle du fait de l'absence de besoins remontés par les entreprises.
3. **Des certifications permettant d'accéder à certains métiers de l'électronique de puissance** : Monteur câbleur, bobinier, monteur intégrateur, technicien BE en électronique de puissance.
4. **Peu d'expériences concrètes de passerelles** entre métiers à risque et métiers de l'électronique de puissance

- *Objectif 1* : Adapter l'offre de formation continue
- *Objectif 2* : Promouvoir les passerelles possibles pour faciliter leur réalisation
- *Objectif 3* : Promouvoir les dispositifs pour faciliter les reconversions



Les pistes d'action pour y répondre

4. Promouvoir la prestation Diagnostic RH de l'OPCO 2i auprès des PME engagées sur l'électronique de puissance
5. Organiser des réunions d'information auprès des organismes de formation pour anticiper la croissance des besoins en formation continue

ACTION 4 : PROMOUVOIR LA PRESTATION DIAGNOSTIC RH DE L'OPCO 2i AUPRÈS DES PME ENGAGÉES SUR L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Alors que les grands groupes disposent de moyens internes pour définir leurs besoins en compétences, les petites entreprises ont davantage de difficulté pour identifier les métiers et les compétences nécessaires à leur activité et en lien avec l'électronique de puissance. Outre des moyens RH limités, le caractère récent de ce domaine dans l'automobile contribue à ces difficultés.



Organisations professionnelles, Acteurs du programme électronique de puissance, OPCO 2i, Direccte

- 1 Construire un format de présentation du dispositif de prestation-conseil RH orienté autour des problématiques d'électronique de puissance (nature du dispositif, procédure pour en bénéficier...).
- 2 Contacter dans les Direccte les responsables du dispositif pour les inviter à le présenter auprès des entreprises mobilisées sur l'électronique de puissance.
- 3 Identifier les entreprises engagées sur l'électronique de puissance et éligibles au dispositif par le biais des pôles de compétitivité, des CMQ et des ARIA.
- 4 Organiser une réunion de présentation du dispositif aux acteurs industriels animée par les conseillers régionaux de l'OPCO 2i :
 - Inviter les organisations professionnelles d'employeurs régionales afin que celles-ci puissent communiquer auprès de leurs adhérents
 - Inviter directement les entreprises de la région pour leur présenter le dispositif

Le diagnostic RH/GPEC de l'OPCO 2i



La prestation de diagnostic DIAG GPEC permet d'analyser et gérer de manière réactive les besoins de compétences permettant aux TPME de construire leurs actions de développement de compétences immédiates et à court terme.

Cette prestation est prise en charge à 100% pour les entreprises de moins de 250 salariés.

Les prestations-conseil RH de la Direccte



Les prestations-conseil RH des Direccte s'adressent aux entreprises de moins de 300 salariés et permettent aux entreprises de bénéficier d'un accompagnement d'un cabinet spécialisé cofinancé à hauteur de 50% dans la limite de 15 000€ HT.

ACTION 5 : ORGANISER DES RÉUNIONS D'INFORMATION AUPRÈS DES ORGANISMES DE FORMATION POUR ANTICIPER LA CROISSANCE DES BESOINS EN FORMATION CONTINUE

Une part importante des organismes de formation interrogés ne souhaitent augmenter leur offre relative à l'électronique de puissance du fait de l'absence de besoins remontés par les entreprises.



Organisations professionnelles, Acteurs du programme électronique de puissance, OPCO 2i, réseau UIMM

1

Identifier à l'aide d'une enquête en ligne, les organismes de formation intéressés par un développement de leur offre de formation en lien avec l'électronique de puissance.

2

Organiser une réunion de rencontre entreprises/organismes de formation afin de présenter les enjeux technologiques et des besoins en métiers et en compétence en lien avec l'électronique de puissance.

3

Avec les organismes de formation volontaires, réaliser une cartographie des expertises disponibles en lien avec l'électronique de puissance chez les formateurs.

4

Organiser un groupe de travail avec des experts et entreprises pour identifier les éventuels manques et besoins en compétences chez les formateurs.

5

Élaborer un plan de développement des compétences chez les formateurs en mobilisant les organismes de formation et les entreprises (formation des formateurs au sein d'école, d'industries, ou de laboratoires...).

Les principaux organismes de formation continue recensés proposant des formations spécifiques à l'électronique de puissance

- ACFITEC
- ACT
- AEMC
- AFPI
- ASFO ADOUR
- CENTRALE SUPÉLEC
- CNAM
- ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE L'ÉLECTRICITÉ ET DE A MÉCANIQUE
- ÉLECTRO-OHMS
- ESTACA
- EUROSAC
- FRAMATECH
- GROUPE EMITECH
- INP GRENOBLE
- INSA VALOR
- INP TOULOUSE
- INSTITUT DES RESSOURCES INDUSTRIELLES
- INSTITUT SUPÉRIEUR DE L'AUTOMOBILE ET DES TRANSPORTS
- PROFORMALYS
- SERMA GROUP
- SIREPE
- TVH
- UIMM PÔLE FORMATION BRETAGNE
- UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BERLFORT-MONTBÉLIARD

ENJEU 3 : DÉPLOYER UNE STRATÉGIE INDUSTRIELLE GLOBALE

1. **Les entreprises de l'électronique ont peu de visibilité et de relations avec les acteurs de l'automobile** alors que les besoins en compétences liées à la production pour l'automobile sont spécifiques (intégration, fiabilité, compacité...). Cette distance peut pénaliser l'émergence d'une filière de production
2. **Il existe des enjeux technologiques importants dans l'électronique de puissance** (composants grand gap, calculateurs, CEM, hautes fréquences, gestion thermique...), le renforcement des liens entre les acteurs (laboratoires, centres de formation, établissements, industriels) est un enjeu important.
3. **L'électrification est un phénomène allant au-delà du secteur de l'automobile** (ferroviaire historiquement, mais aussi aéronautique ou les énergies renouvelables). Les besoins en compétences sont donc partagés avec d'autres secteurs alors que des savoir-faire pourraient être valorisés.

- *Objectif 1 : Développer les liens entre les donneurs d'ordre automobiles et les industriels de l'électronique*
- *Objectif 2 : Rapprocher les centres technologiques et laboratoires des acteurs industriels*
- *Objectif 3 : Etendre l'analyse des besoins en électronique de puissance à d'autres secteurs*



Les pistes d'action pour y répondre

6. Evaluer la possibilité de créer un réseau ou des structures fonctionnant comme des centres techniques

ACTION 6 : ÉVALUER L'OPPORTUNITÉ DE CRÉER UN CENTRE TECHNIQUE TOURNÉ VERS L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE DANS L'ÉLECTROMOBILITÉ

Les enjeux technologiques dans l'électronique de puissance ainsi que le besoin de montée en compétence pour l'ensemble des acteurs mobilisés dans l'électromobilité automobile impliquent un effort important en termes de R&D. La création de structures dédiées à ces enjeux pourrait accompagner les plus petites entreprises dans cet effort.



Organisations professionnelles, Acteurs du programme électronique de puissance, Pôles de compétitivité

Mener une étude d'opportunité de création d'un CTI tourné sur l'électronique de puissance et l'électromobilité :

1

- Réaliser un mapping des prestations et des expertises des CTIM existants et identifier les autres plateformes de transfert de compétence (institut Carnot, écoles - ESTACA, UTC...)
- Interroger les entreprises impliquées dans l'électronique de puissance dans l'électromobilité automobile pour identifier leurs besoins relatifs à la création d'un CETI

2

Dans le cas de la couverture des besoins : par un organisme existant, organiser une campagne de promotion et de présentation des prestations auprès des entreprises par le biais de réunions d'information et de retours d'expérience.

3

Dans le cas d'une non-couverture des besoins :

- Monter un dossier d'évaluation financière : subventions possibles, évaluation des besoins d'investissements initiaux, sources de financements, coûts d'exploitation...
- Définir le positionnement : localisation, expertises et compétences, offre de services...

4

Présenter le projet de création d'un centre technique industriel aux responsables de la branche pour valider le projet et pouvoir le transmettre aux autorités ministérielles.



Centre Technique Industriel
de la Plasturgie et des Composites

Créé en 2015, le CTI-IPC vise à favoriser la performance et la compétitivité des acteurs de la filière du plastique et du composite.

Un mode de financement mixte

Activités privées sous forme de prestation financées sur fonds propres et via des aides publiques

+

Actions collectives financées par une taxe aux entreprises de la prestation

3 grandes activités



Des projets internes pour développer des compétences technologiques. Des projets collaboratifs avec des consortiums.

Des actions collectives dont les thématiques sont déterminées par les industriels et dont les résultats sont partagés.

Des prestations individuelles sur la demande des industriels.

ENJEU 4 : RÉPONDRE AUX ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ET INTÉGRER LES ENJEUX DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

1. **Il existe des enjeux technologiques importants dans l'électronique de puissance** (composants grand gap, calculateurs, CEM, hautes fréquences, gestion thermique...), la mobilisation des OF et l'adaptation de l'offre est enjeu pour accompagner ces évolutions.
2. **Parmi les actions permettant de faciliter l'adaptation de l'offre de formation continue**, celles favorisées par les OF sont : le développement de projets industriels, l'organisation de réunions entre entreprises et OF, sensibilisation des professionnels à l'intérêt d'une activité de formateur et la formation des formateurs
3. **La prise en compte des enjeux de développement durable** (réutilisation, réparation, recyclage, écoconception...), n'est que peu ressortie des échanges avec les professionnels. Dans un contexte de transition énergétique, celle-ci apparaît toutefois majeure pour le développement de l'électronique de puissance.

- *Objectif 1 : Adapter l'offre de formation continue*
- *Objectif 2 : Soutenir les projets technologiques portant sur les enjeux techniques de l'électronique de puissance dans l'électromobilité*



Ces objectifs et cet enjeu sont adressés par le programme électronique de puissance dans le cadre d'autres groupes de travail.

Les pistes d'action portant sur ces objectifs ne sont donc pas abordées dans cette étude.

- 
- 1 MÉTHODE ET OBJECTIF
 - 2 L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE AU CŒUR DE LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉLECTROMOBILITÉ
 - 3 LES BESOINS EN EMPLOI ET EN COMPÉTENCES LIÉS À L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE
 - 4 ANALYSE DE L'OFFRE DE FORMATION
 - 5 ÉLABORATION DE PISTES D'ACTION
 - 6 ANNEXES**

NOTRE ENGAGEMENT

A travers notre participation au Pacte Mondial des Nations Unies, nous souhaitons faire progresser les pratiques en termes de respect des droits de l'homme, des normes du travail, de protection de l'environnement et de lutte contre toutes les formes de corruption.



KYU Associés, Conseil en Management

136, Boulevard Haussmann – 75008 Paris

+ 33 1 56 43 34 33

www.kyu.fr

