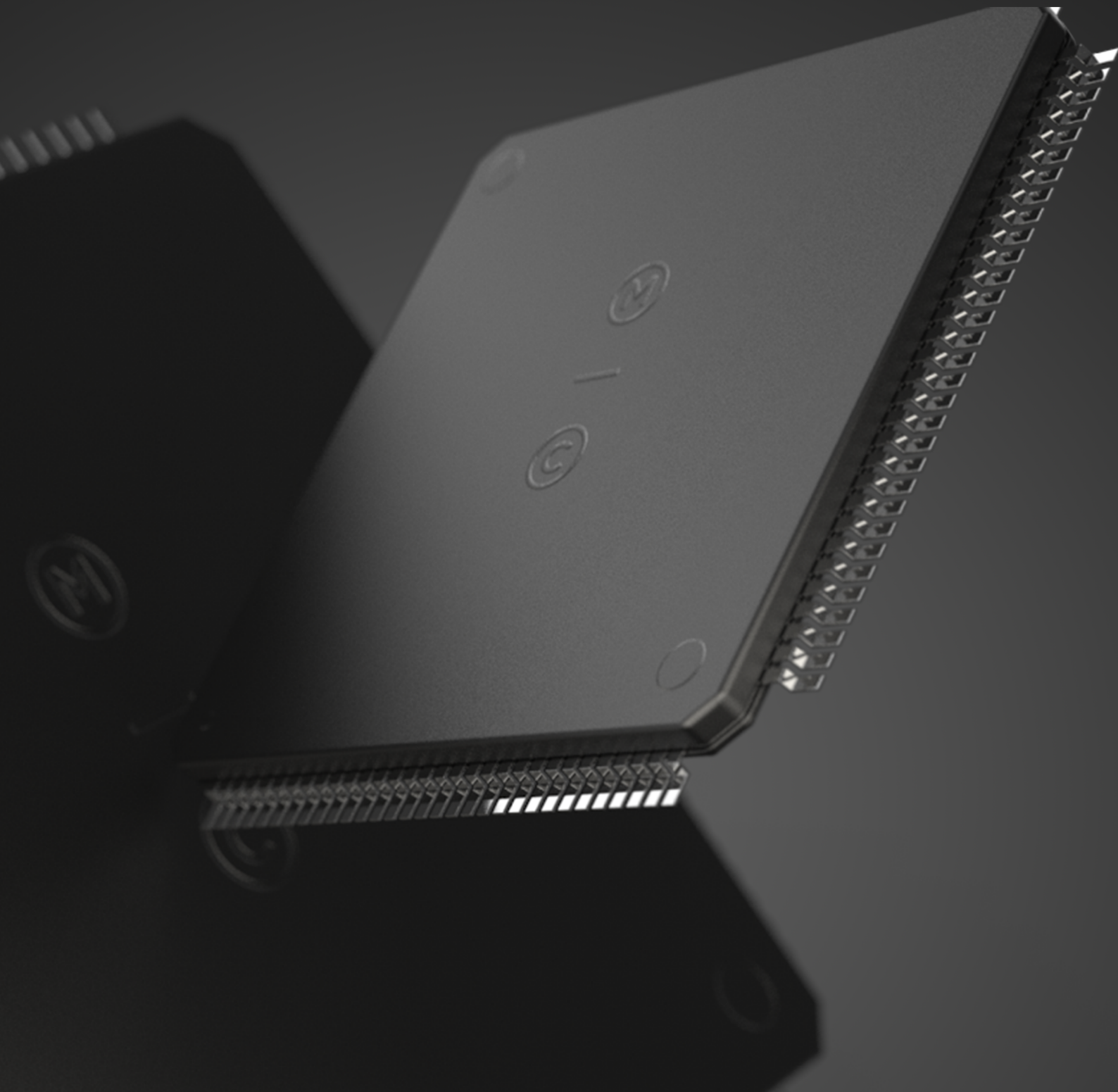


LA SIMPLIFICATION DES  
DÉFIS DE CONCEPTION  
ASSOCIÉS AUX MODULES  
DE CONTRÔLE DU GROUPE  
MOTOPROPULSEUR



# LA SIMPLIFICATION DES DÉFIS DE CONCEPTION ASSOCIÉS AUX MODULES DE CONTRÔLE DU GROUPE MOTOPROPULSEUR

## INTRODUCTION

Toutes les voitures modernes, qu'il s'agisse d'un modeste monospace familial ou d'une puissante formule 1, sont équipées d'un module de commande du groupe motopropulseur (PCM), le mariage technologique entre le module de commande du moteur (ECM) et le module de commande de la transmission (TCM). Constitué de matériel intégré très performant et de logiciels embarqués sophistiqués, le PCM est en fin de compte responsable des performances du véhicule sur la route. Si vous êtes un architecte logiciel qui conçoit des PCM, vous êtes confrontés à l'une des tâches les plus complexes du secteur automobile : contrôler électroniquement et intégrer des centaines de composants mobiles avec des milliers de codes d'erreur possibles.

Comme la complexité des PCM augmente pour suivre le rythme imposé par la réduction de la consommation de carburant, le respect de l'environnement et les réglementations en matière de sécurité, la conception de PCM devient plus difficile. Les développeurs ont besoin de compilateurs et d'outils d'optimisation des performances plus sophistiqués pour relever ces défis.

## ÉVOLUTION DES PCM<sup>(1)</sup>

Le groupe motopropulseur anime le véhicule: le moteur (le bloc et la tête des cylindres, les bielles et vilebrequins, les pistons, les turbos, les soupapes et autres), le système d'échappement, la transmission, l'arbre de transmission, les suspensions et les roues. Le PCM contrôle habituellement plus d'une centaine de facteurs, notamment et entre autres, le ralenti, la distribution variable, la transmission automatique, l'allumage, la température du catalyseur, l'accélérateur électronique, la pression du carburant, la détection des ratés, le régulateur de vitesse et le radar de stationnement. Chacun de ces aspects peut être associé à plusieurs codes d'erreur, qui indiquent que certains sous-systèmes du véhicule rencontrent des problèmes. Généralement, lorsque l'une de ces erreurs survient, le « voyant moteur » du tableau de bord s'allume.

Certaines commandes électroniques de la transmission sont apparues dans les années 70. Dans les années 80, les systèmes de commande de moteur hybrides analogiques/numériques sont devenus très courants. Ils intégraient des capteurs analogiques associés à une puce ROM électronique qui enregistrait les données utilisées pour activer les différentes commandes mécaniques du moteur.(1) Le secteur automobile a répondu à l'émergence des réglementations environnementales mondiales des années 90 avec des dispositifs de contrôle des émissions électroniques comme les convertisseurs catalytiques, des commandes de moteur électroniques et des systèmes d'injection du carburant plus sophistiqués. Avec des systèmes d'allumage plus complexes, les unités de contrôle moteur (ECU) sont également devenues plus compliquées pour mieux contrôler le mélange air/carburant (figure 1).

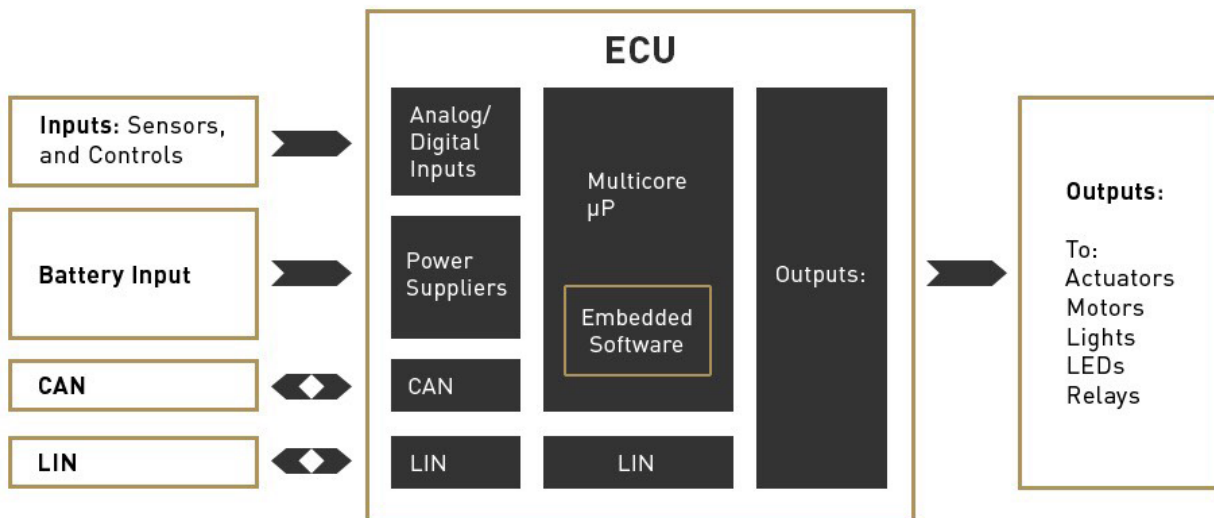


Figure 1. Le module de commande du groupe motopropulseur (PCM) commande électroniquement et intègre des centaines de composants associés au mouvement du véhicule.

# LA SIMPLIFICATION DES DÉFIS DE CONCEPTION ASSOCIÉS AUX MODULES DE CONTRÔLE DU GROUPE MOTOPROPULSEUR

Le marché mondial des ECU, qui comprend notamment les PCM, devrait peser presque 46 milliards de dollars américains d'ici 2020.(2) Cette croissance est alimentée par les avancées technologiques qui mettent à disposition des nouvelles fonctionnalités rentables ainsi que par plusieurs tendances du marché:

- La réduction de la consommation de carburant et les réglementations environnementales. Les PCM doivent répondre à des exigences strictes en matière d'émissions, notamment à la CAFE (corporate average fuel economy) à 4,31 l/100 km qui entrera en vigueur aux États-Unis en 2025 en remplacement de la CAFE à 8,4 l/100 km actuelle. Comme l'a montré le scandale Volkswagen lié aux émissions baptisé « dieseldgate »(4), la fonctionnalité des PCM est examinée à la loupe par les agences de régulation. La conception du PCM est donc devenue plus importante que jamais.
- Des exigences strictes en matière de sécurité. La sécurité a toujours été d'une importance capitale dans l'industrie automobile, mais elle prend une place encore plus grande avec l'apparition des systèmes d'assistance à la conduite (ADAS) et les véhicules autonomes.
- Les véhicules hybrides électriques. Les PCM pour les véhicules hybrides ne doivent pas se contenter de contrôler le moteur traditionnel : ils doivent aussi gérer le moteur électrique, la recharge de la batterie et la boîte de vitesses.

## ENJEUX DE LA CONCEPTION DE PCM

Les concepteurs de PCM doivent habituellement relever de nombreux défis (figure 2):

- Analyse de défaillances. Les capteurs tombent plus souvent en panne que les composants du PCM. Mais comment le logiciel embarqué du PCM fait-il la différence entre un ECM défaillant et un capteur en panne? Les modules logiciels embarqués doivent être capables de les différencier et d'initier les actions correctives appropriées. Une étude de 2013 a montré que les diagnostics précoces des défaillances des moteurs sont extrêmement importants et que des systèmes de contrôle électronique défaillants, une mauvaise temporisation de l'allumage et un dysfonctionnement de la gestion moteur peuvent conduire à la destruction complète du moteur. (5)
- Des exigences en matière de sécurité. Personne ne souhaite que sa voiture passe en marche arrière lorsqu'elle roule à 90 km/h. Un mauvais mélange de carburant, une temporisation inadaptée ou une étincelle égarée peuvent provoquer une catastrophe. Les PCM doivent être garantis « sans panne » et répondent ainsi à l'ASIL D, le niveau d'intégrité de la sécurité automobile le plus élevé. En cas de défaillance, l'erreur doit être détectée et le système doit passer à un état sécurisé dans un délai spécifique. Le choix d'un matériel fiable et certifié affichant des niveaux d'erreurs faibles et des microprocesseurs qui permettent une exécution respectueuse des règles peut permettre d'améliorer la sécurité. Des fonctionnalités de débogage et de vérification de la sécurité puissantes pour le développement logiciel peuvent également s'avérer utiles.

### LES MODULES DE CONTRÔLE DU GROUPE MOTOPROPULSEUR EN ACTION (10)

Les formules 1 mettent à l'épreuve les modules de contrôle du groupe motopropulseur (PCM). Par exemple, la nature du circuit peut imposer une modification profonde des mappages. Sur les pistes plus lentes et sinueuses (comme celle du Grand Prix de Monaco), le système de contrôle du moteur doit aider le conducteur à mieux gérer l'accélérateur en rendant la première moitié de la course de l'accélérateur extrêmement sensible. Sur les circuits rapides comme celui du Grand Prix d'Italie, le conducteur doit utiliser l'accélérateur de manière plus agressive afin qu'un léger mouvement de l'accélérateur provoque une accélération maximale.

Une formule 1 compte entre 100 et 150 capteurs. Des relevés sont effectués toutes les 20 millisecondes, générant entre 100 ko et 0,5 Mo de données par seconde. 100 Go de données (qui rempliraient environ 250 DVD) peuvent être générés pendant un weekend de grand prix.

# LA SIMPLIFICATION DES DÉFIS DE CONCEPTION ASSOCIÉS AUX MODULES DE CONTRÔLE DU GROUPE MOTOPROPULSEUR



Figure 2. Les développeurs de logiciels font face à de nombreux défis de conception pour les modules de contrôle du groupe motopropulseur.

- La consommation électrique. Comme dans la plupart des secteurs de l'industrie électronique, l'augmentation de puissance de calcul dont vous disposez va de pair avec celle de la consommation énergétique. Mais les PCM très énergivores ne sont pas rentables et peuvent générer une chaleur excessive susceptible d'affecter les performances. L'association d'un code soigneusement écrit et d'un matériel à faible consommation est la meilleure façon de gérer la consommation énergétique.
- Un environnement de fonctionnement difficile. En dehors de l'Antarctique, l'espace situé sous le capot d'un véhicule est certainement l'endroit le moins recommandable pour recevoir de l'électronique sophistiquée. Les vibrations excessives et les importantes variations de température (de -40 °C à 125 °C), associées aux fortes interférences radio émises par le système d'allumage imposent d'utiliser un PCM extrêmement robuste et renforcé, mais dont le volume doit rester inférieur à 100 cm<sup>3</sup> (environ 15 x 13 x 5 cm).

Pour pouvoir gérer de nouvelles fonctionnalités du PCM, les architectures des mémoires du PCM deviennent de plus en plus complexes. Pour optimiser l'utilisation de ces architectures de mémoires, les développeurs de PCM ont besoin d'outils de développement logiciels à la pointe, notamment des compilateurs et des éditeurs de liens qui prennent en charge la configuration de la mémoire et l'optimisation des performances.

- Des performances exceptionnelles. Les applications du PCM actuelles requièrent des microprocesseurs 32 bits à plusieurs cœurs rapides, efficaces d'un point de vue énergétique et qui améliorent les performances de la mémoire. Opter pour un compilateur à la pointe peut permettre d'atteindre les objectifs en matière de délai et d'accès à la mémoire. En outre, le « cerveau » réel du PCM, à savoir le logiciel embarqué, doit être soigneusement écrit et avoir accès aux fonctionnalités peu performantes du microprocesseur. Plus précisément, les véhicules électriques hybrides et les réglementations habituelles ont augmenté le nombre d'algorithmes et d'ensembles de données d'étalonnage spécifiques à l'application afin de gérer les différents types de carburants et les exigences géographiques. Les exigences en matière de mémoire du PCM ont été multipliées par huit durant les dix dernières années et elles continuent à augmenter. La production totale de véhicules hybrides et électriques devrait atteindre 11,6 millions de dollars d'ici 2020, soit un taux de croissance dépassant les 28 %.
- Une connectivité sûre. Les PCM modernes commencent à prendre en charge les mises à jour de toutes les fonctionnalités over-the-air (OTA). Les mises à jour de composants logiciels OTA évitent les retours onéreux et maintiennent les systèmes des véhicules à jour sur l'ensemble de leur durée de vie. Plus de 51 millions de véhicules ont été rappelés en 2015 au cours de presque 900 campagnes de rappel différentes.(7) La sécurité est évidemment au cœur des préoccupations lorsqu'il s'agit de mettre à jour des composants automobiles essentiels. Une nouvelle génération de solution automobile connectée a récemment été présentée au TU-Automotive Detroit 2015, l'une des plus grandes et plus anciennes conférences sur les véhicules connectés et la mobilité automobile au monde. C'est également en 2015 que Navistar Inc. est devenu le premier fabricant de véhicules commerciaux lourds à promouvoir un module de contrôle OTA dans sa flotte internationale de camions, en utilisant un PCM compatible Wi-Fi.
- Le marché des ECM OTA est prêt à présenter un taux de croissance à deux chiffres dans les dix prochaines années.(9) Les développeurs de PCM peuvent choisir des microprocesseurs et des outils de développement logiciel qui prennent en charge un module de sécurité matériel (HSM) intégré ainsi que le chiffrement et la détection de fraudes.

# LA SIMPLIFICATION DES DÉFIS DE CONCEPTION ASSOCIÉS AUX MODULES DE CONTRÔLE DU GROUPE MOTOPROPULSEUR

---

## UN MATÉRIEL ET DES OUTILS ADAPTÉS PEUVENT FAIRE TOUTE LA DIFFÉRENCE.

L'utilisation d'un microprocesseur adapté peut permettre de simplifier les défis posés par la conception du PCM en offrant des capacités spécifiques qui répondent aux problématiques en matière de sécurité et de performance. Vous devez rechercher un microprocesseur largement utilisé dans l'industrie automobile qui propose l'exécution lock-step, un module matériel de sécurité intégré, un module de temporisation générique (GMT) et une transformation de Fourier rapide matérielle (FFT). Ces fonctionnalités facilitent la conception en adaptant le matériel plutôt qu'en laissant le logiciel faire tout le travail.

Au-delà du microprocesseur, le compilateur et les outils de développement associés peuvent réduire de manière substantielle le temps de mise sur le marché du logiciel embarqué en facilitant le développement et le test. Voici quelques-unes des fonctionnalités à rechercher pour un compilateur :

L'optimisation du matériel. Certains compilateurs sont optimisés pour un microprocesseur donné afin d'optimiser l'utilisation de fonctionnalités telles que les modules de sécurité, de temporisation et plusieurs cœurs. Un tel compilateur génère un code compact et efficace, qui affiche donc une empreinte minimale et un temps d'exécution le plus court possible. Une suite de compilateurs qui permet aux développeurs de gérer toutes les fonctionnalités matérielles pertinentes (HSM, GTM et plusieurs cœurs) raccourcit nettement le temps de mise sur le marché puisque presque tout le code peut être écrit en C haut niveau plutôt qu'en assembleur et que le débogage est simplifié grâce à des informations de débogage pour tous les composants matériels qui proviennent d'un ensemble unique d'outils tous compatibles.

Le mappage des broches et d'autres interfaces bas niveau. Les microprocesseurs perfectionnés pour l'automobile peuvent compter entre 100 et 600 broches. Le suivi manuel de l'affectation des broches peut s'avérer fastidieux, long et générer des erreurs, en particulier dans les applications du PCM qui utilisent plusieurs modules périphériques sur la puce. Choisissez une suite de développement logiciel qui comprend des capacités de mappage des broches et des interfaces de configuration des pilotes de bas niveau, des fichiers d'en-tête et du système d'exploitation en temps réel (RTOS).

Conformité et compatibilité avec les normes du secteur. Bien que le langage assembleur soit parfaitement approprié, il est souvent bien plus facile d'écrire des algorithmes de PCM très performants en C ou en C++. Choisissez un compilateur prenant en charge le langage de votre choix qui est reconnu pour être fiable, conforme ISO, compétitif, complet et facile à utiliser. Le compilateur choisi doit être conforme aux suites de validation fiables, telles que Perennial® et Plum Hall[sak2] [JG3] ®, avoir été testé à grande échelle dans des applications de PCM réelles et répondre aux normes de référence du secteur telles que Nullstone et EEMBC[AH4].<sup>[5]</sup>

Adieu les interférences. Recherchant avant tout la sécurité, les développeurs de logiciels de PCM apprécieront une suite de développement de logiciel embarquée qui permet de s'affranchir des interférences entre les éléments du logiciel avec des classifications ASIL incompatibles dans une application. Les outils de suppression d'interférences performants vont au-delà des outils d'analyse statique traditionnels qui vérifient les constructions de code dangereuses par rapport à la spécification, interagissent finement avec le matériel pour relier les exigences ISO 26262 aux tests traditionnels des logiciels.

Prise en charge d'ASPICE CL2. Automotive SPICE® (ASPICE) est une structure standard de conception et d'évaluation des processus de développement de logiciels pour l'automobile. Des mises en œuvre efficaces améliorent les processus et la qualité des produits.

## RESTEZ À L'AVANT-GARDE DU DÉVELOPPEMENT DE PCM

Les innovations du secteur automobile, comme l'ADAS et les véhicules hybrides électriques, ainsi que les efforts continus pour réduire la consommation de carburant, les émissions et améliorer la sécurité rendront progressivement le logiciel embarqué du PCM plus complexe. Il n'est possible de concevoir de tels PCM qu'en utilisant du matériel et des outils de développement logiciel innovants et à la pointe.



# LA SIMPLIFICATION DES DÉFIS DE CONCEPTION ASSOCIÉS AUX MODULES DE CONTRÔLE DU GROUPE MOTOPROPULSEUR

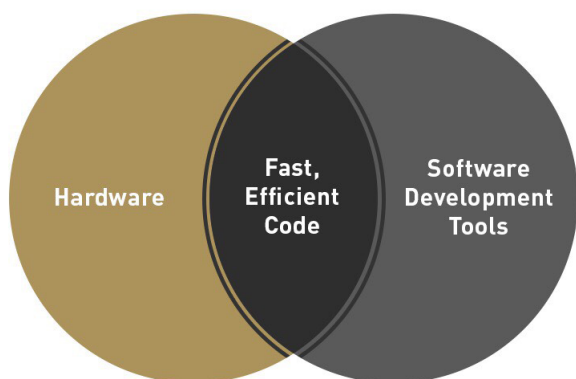


Figure 3: l'association de matériel de grande qualité et de compilateurs finement intégrés permet d'obtenir un code rapide et efficace.

Les réglementations internationales et des budgets en diminution constante incitent les concepteurs d'applications de PCM à choisir des solutions de système de groupe motopropulseur rentables, très performantes et bien alignées. L'utilisation de matériel et d'outils de développement logiciel finement intégrés et très sécurisés peut vous aider à relever les défis posés par la conception de PCM et à rester à l'avant-garde de l'innovation en matière de groupe motopropulseur, notamment pour la gestion des véhicules électriques hybrides et la mise à jour des PCM OTA.

## RÉFÉRENCES

- (1) Qu'est-ce qu'une unité de commande de moteur?, JD Laukkonen, [http://www.crankshaft.com/engine-control-unit/#History\\_of\\_Engine\\_Control\\_Units](http://www.crankshaft.com/engine-control-unit/#History_of_Engine_Control_Units)
- (2) Analyse du marché des ECU pour l'automobile par application et prévisions par segment jusqu'en 2020, <https://www.marketresearchandstatistics.com/ad/automotive-ecu-market-analysis-by-application-powertrain-chassis-electronics-safety-security-entertainment-communication-navigation-and-segment-forecasts-to-2020/>
- (3) Obama annonce la norme CAFE à 4,32 l/100 km en 2025, Andrew Del-Colle, <http://www.popularmechanics.com/cars/a7015/obama-announces-54-6-mpg-cafe-standard-by-2025/>
- (4) Scandale des émissions Volkswagen, [https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen\\_emissions\\_scandal](https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_emissions_scandal)
- (5) Les possibilités de détection en avance des défaillances des moteurs, Jan Filipczyk, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.918.9874&rep=rep1&type=pdf>
- (6) Groupe motopropulseur – Un monde d'applications en évolution rapide, Juergen Jagst, <https://community.arm.com/processors/b/blog/posts/powertrain-a-rapidly-changing-application-world>
- (7) Les mises à jour logicielles Over-the-Air (OTA) sécurisées deviennent essentielles pour le marché de la sécurité automobile sur internet, <http://auto2xtech.com/secure-over-the-air-ota-software-updates-to-be-key-in-the-automotive-cyber-security-market/>
- (8) Démonstrations Autonet Mobile en direct, mises à jour OTA avec Elektrobit Automotive durant le TU-Automotive Detroit, <http://www.businesswire.com/news/home/20150603005293/en/Autonet-Mobile-Demos-Delivery-Live-OTA-Updates>
- (9) De bonnes opportunités de croissance sur le marché des modules de contrôle du groupe motopropulseur over-the-air jusqu'en 2026, <http://www.satprnews.com/2017/01/19/good-growth-opportunities-in-global-over-the-air-engine-control-module-market-till-2026/>
- (10) Adapté à partir de la source, <http://www.slideshare.net/AnkulGupta2/electronic-control-unitecu>