Revue bimestrielle réalisée avec le concours des membres de la Société des Ingénieurs de l'Automobile

INGÉNIEURS DE L'AUTO

DÉCEMBRE 2020 # 868

Interview

Anne-Marie Idrac

Haute Responsable pour la Stratégie nationale de développement des Véhicules Autonomes

Dossier

Electronique de puissance : une belle opportunité française

Webinaires SIA :

Smart Grid, au profit de l'électrification massive de nos véhicules

Ingénierie Renault, pionnier de la mobilité propre

SIA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS DE L'AUTOMOBILE

Sommaire

8
A la Une
Comment le CORAM soutient la R&D de la filière automobile

29
Dossier
Electronique de puissance : une belle opportunité française

20
L'interview
Anne-Marie Idrac, Haute Responsable pour la Stratégie nationale de développement des Véhicules Autonomes

6 L'actu en bref

8 A la une
Comment le CORAM soutient la R&D de la filière automobile

14 Focus
- **De l'anneau de vitesse aux pistes pour voitures autonomes**
- **Les scénarios, une clé pour la validation des ADAS et de la conduite autonome**

20 L'interview
Anne-Marie Idrac, Haute Responsable pour la Stratégie nationale de développement des Véhicules Autonomes

24 Actualités des Communautés d'Experts de la SIA

29 Dossier
Electronique de puissance : une belle opportunité française

46 SIA Webinaire
- **Smart Grid, opportunités et accompagnement nécessaire pour l'électrification massive de l'industrie automobile**
- **Les ingénieurs aux premières lignes de la révolution Renault, pionnier de la mobilité propre**

52 Ecosystème

54 Nouveaux talents
Comment 1 km à pied rapproche l'entreprise du domicile du salarié

57 Le cahier des entreprises

Editeur : Société des Ingénieurs de l'Automobile • Immeuble "le Gabriel Voisin" - 79 rue Jean-Jacques Rousseau - 92158 Suresnes Cedex • T. : 01 41 44 93 70 F. : 01 41 44 93 79 • © Ingénieurs de l'Automobile 2015 • **Directeur de la Rédaction et de la Publication :** Hervé Gros • **Rédacteurs :** Bertrand Gay, Yvonnick Gazeau • W**Direction artistique :** Eve Taberna • **Conférence de Rédaction :** Thierry Bourdon, Marie-Claude Buraux, Michel Faivre-Duboz, Jacques Graizon, Noureddine Guerrassi, Emmanuel Lescaut, Luc Marbach, Jean-François Simon, François Sudan • **Crédits Photos :** 1 km à pied, Aeristech, Analog Devices, Audi, BMW, Daimler Trucks, Emitech, FEV, Anne-Marie Idrac, Magna, Michelin, Plastic Omnium, Renault, Claire Seppecher, Silentium, STMicroelectronics, Toyota, UTAC CERAM, Vedecom, Volvo • **Editeur Délégué :** F.F.E. 15 rue des Sablons - 75116 Paris • **Directeur de la publicité :** Yves BITAN • Tél. : 01 43 57 93 89 • yves.bitan@ffe.fr • **Assistante de fabrication :** Aurélie VUILLEMIN • Tél. : 01.53 36 20 40 • aurelie.vuillemin@ffe.fr • **Imprimeur :** Espace Graphic • **n°ISSN** 0020-1200

Diffusion Service abonnements 79 rue Jean-jacques Rousseau – 92158 Suresnes Cedex - abonnements@sia.fr – 01 41 44 93 70
Tarif au numéro : 25 € TTC • **Tarifs abonnement :** France métropolitaine 130 € TTC – Europe 149 € - Hors Europe, DOM TOM : 160 €

Considérons tous ceux qui nous entourent, additionnons les savoirs et joies communes au lieu d'opposer nos incertitudes.

Comme le déplorait Etienne Klein dans une récente interview, « On n'entend pas assez les ingénieurs dans les débats d'aujourd'hui. » Ils sont pourtant les détenteurs du savoir, les bâtisseurs de la science, qu'ils soient « technologues, technophiles ou même technolâtres » et toujours, eux, modérés.

Notre magazine comme notre association d'Ingénieurs de l'Auto se veulent un lieu de parole et de construction en s'appuyant sur le pilier essentiel qu'est l'objectification scientifique.

Ne pas dénaturer les faits, reposer sur la physique, la chimie et les mathématiques (seule science exacte ?) se remettre en question. Observer, observer toujours, tester, expérimenter, partager des scénarios, des cas d'usages nouveaux comme en anticiper d'autres. Anne-Marie Idrac le rappelle dans ce numéro au sujet de la stratégie nationale sur le VA, et le focus sur ADScene comme notre grand dossier sur l'électronique de puissance le confirment tous les deux concrètement.

Expérimenter pour doper l'imaginaire

Hervé Gros
Directeur de la publication et de la rédaction

Et donner enfin la parole aux ingénieurs

Alors oui ! Ouvrons nos portes, y compris sur nos divergences, en France comme en Europe dont nous devons bâtir les propres solutions technologiques.

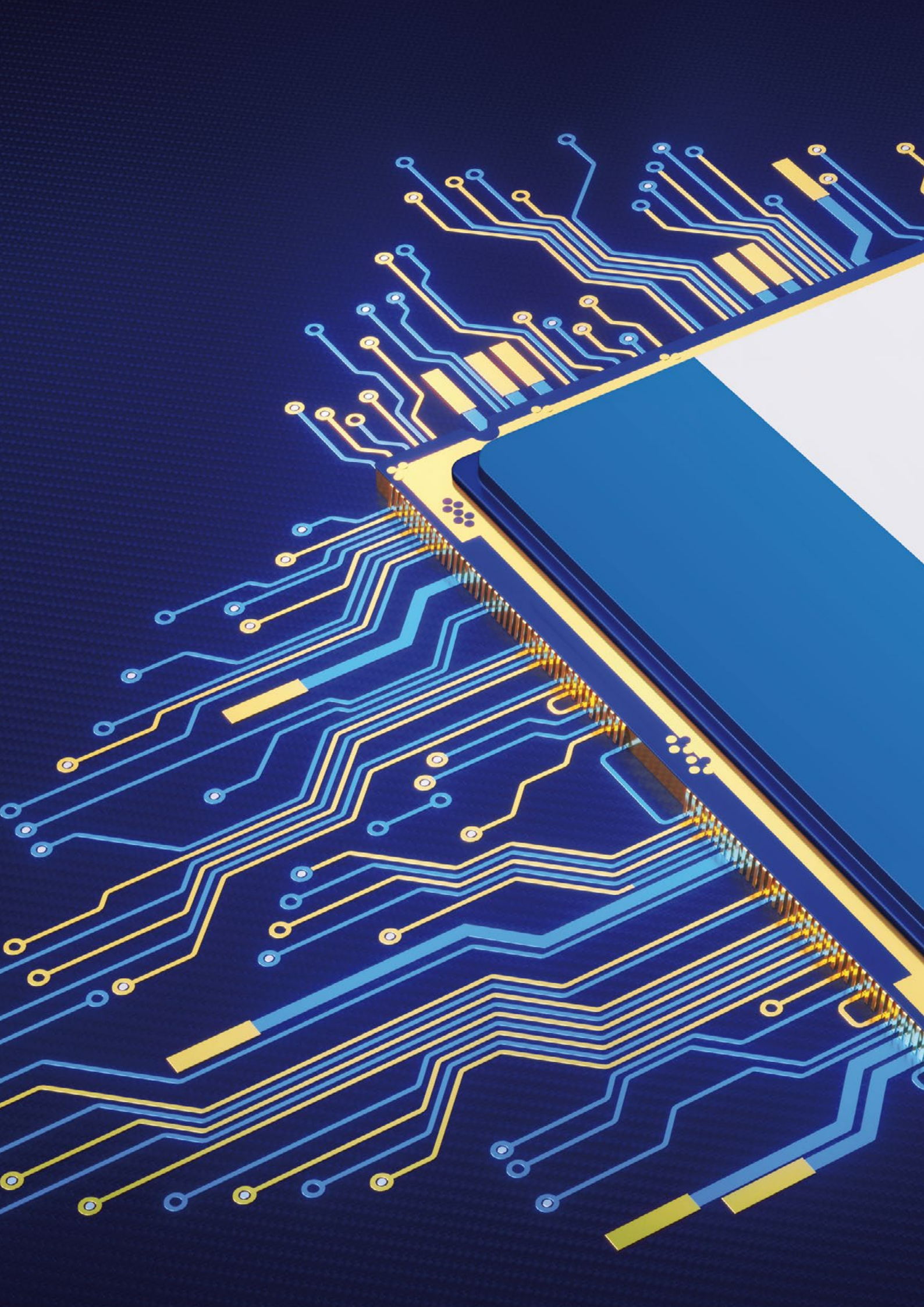
Transmettons notre savoir aux futures générations d'ingénieurs et à nos dirigeants – industriels comme politique – mais aussi au plus grand nombre afin de toucher l'opinion publique. Prenons appui sur notre science afin de déployer une vraie communication pédagogique.

La communauté d'experts Véhicule Électrique de la SIA l'a fait en réponse à certains médias, celle sur les ADAS et AD travaille en ce sens sur l'AEB et les limites des ADAS.

C'est donc une nouvelle mission pour la SIA, comme pour votre magazine que nous avons transformé afin d'en faire un organe d'information objectif, ouvert et accessible à tous. À l'heure où je passe la main à la direction de la SIA, je veux remercier : Eve à la direction artistique, Yvonnick et Bertrand (avant eux Laurent et Ali) pour la rédaction et la rédaction en chef, Pascale au secrétariat de rédaction, Aurélie à la réalisation technique, sans oublier Yves et son cahier des entreprises, essentiel à notre existence.

Une formidable équipe, de très grande qualité pour mettre en valeur la nouvelle aventure de l'auto.

Bonne lecture.



Dossier réalisé par Yvonnick Gazeau

ELECTRONIQUE DE PUISSANCE : UNE BELLE OPPORTUNITÉ FRANÇAISE

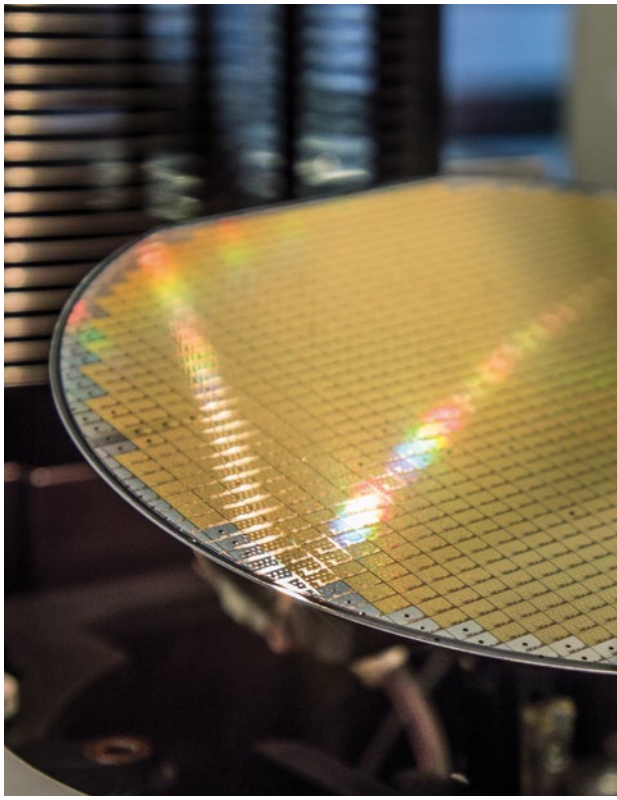
L'électrification et la digitalisation de l'automobile accroissent fortement la demande en électronique de puissance. Simultanément, de nouvelles technologies de semi-conducteurs émergent. Les bouleversements technologiques et industriels sont ainsi multiples pour les filières automobile et électronique, mais ces défis peuvent également devenir des opportunités pour la France.

Un chargeur embarqué dans un véhicule électrique transforme le courant alternatif en continu, son convertisseur change la tension, son onduleur alimente les phases du moteur électrique. Des puissances élevées sont également requises pour l'assistance de direction, les amortisseurs pilotés, les systèmes d'aide à la conduite et bien d'autres équipements. Ces éléments ont en commun le pilotage électronique d'un courant et/ou tension élevés, une technologie nommée électronique de puissance.

L'électronique de puissance n'est pas une technologie nouvelle puisque ses débuts datent de la fin du 19ème siècle avec l'invention des redresseurs AC-DC (courant alternatif/continu) en 1896, puis DC-DC (courant continu/continu) en 1924, et de l'onduleur DC-AC l'année suivante. Les premiers commutateurs de puissance sont apparus en 1902 sous la forme de redresseurs à vapeur de mercure, puis de redresseurs à lampe, ce dernier élément étant très représentatif de l'électronique des appareils de radio et de télévision de l'époque. Les diodes, transistors et thyristors ont ensuite émergé grâce à l'emploi du silicium (Si). Plus compacts et pouvant travailler avec des intensités et des fréquences supérieures, les semi-conducteurs Si, principalement les MOSFET de puissance apparus en 1975 puis les IGBT de puissance en 1983, représentent la première révolution dans le domaine de l'électronique de puissance.

Les SiC amorcent la seconde révolution

Utilisés dans les diodes et les transistors, les semi-conducteurs contrôlent le courant par des coupures à très haute fréquence. Ces découpages nécessitent cependant un différentiel de tension élevé, ce qui engendre une perte d'énergie dissipée en chaleur. L'électronique de puissance d'une chaîne de traction électrique est responsable d'environ 25 % de toutes les pertes électriques, dont 20 % seraient directement liés aux seuls semi-conducteurs de puissance.

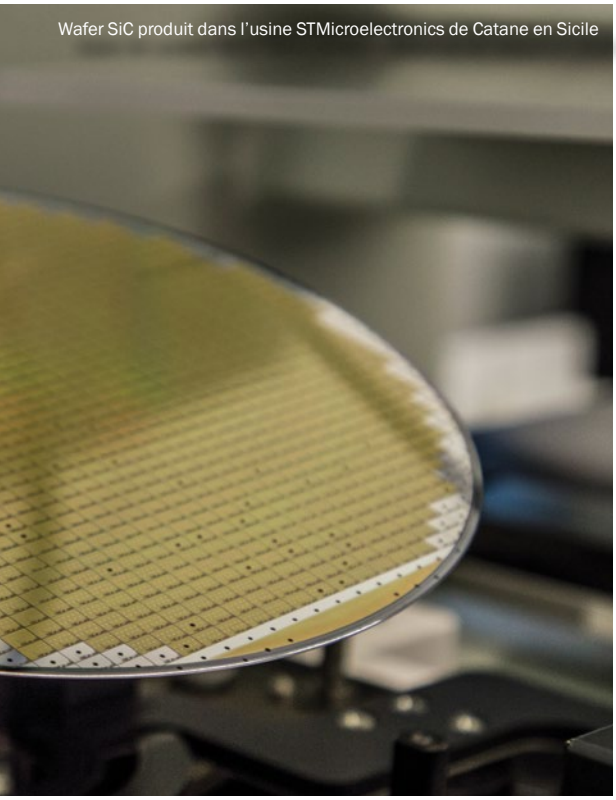


Le déploiement des puces au carbure de silicium (SiC), en remplacement de celles au silicium, permet de réduire le différentiel de tension de découpage, même à haute fréquence ; un résultat identique serait obtenu avec une baisse de résistance dans le circuit. Si les premières diodes au SiC sont apparues en 2002, leur emploi était limité aux faibles courants et seules des techniques de fabrication récentes ont permis de rendre ce type de diode compatible avec des puissances élevées.

Classés dans une catégorie de semi-conducteurs « à large bande interdite » (Wide Band Gap), les SiC actuels présentent des améliorations marquantes par rapport à ceux au silicium : leur tension maxi est multipliée par 4, leur fréquence de découpage du courant par 3 (vitesse d'électrons accrue) et leur température maxi par 2 (meilleur conductivité thermique et température de fusion supérieure). Ils peuvent ainsi atteindre des fréquences de près de 100 kHz et transférer 100 kW sous 800 V, voire 1 MW sous 1 200 V pour les plus performants.
Leurs caractéristiques les placent en bonne position pour les futurs onduleurs

Tension des moteurs obtenue par découpage

La tension et le courant aux bornes des bobines des stators de moteurs électriques résultent des durées de mise sous tension et de coupures générées par l'onduleur. Les découpages de tension sont produits dans les onduleurs par des thyristors, IGBTs, diodes ou MOSFET au silicium. La fréquence maximale varie généralement selon les applications entre 10 kHz et 50 kHz. Certains onduleurs, comme celui de la Tesla Model 3, produisent une modulation à 3 niveaux de tension – maxi, moitié et nulle – afin de mieux approcher la sinusoïde parfaite.


Wafer SiC produit dans l'usine STMicroelectronics de Catane en Sicile

des moteurs de propulsion et pour les convertisseurs de tension DC/DC.

STMicroelectronics a estimé que les pertes moyennes pour les fonctions de découpage sont divisées de moitié en remplaçant des puces Si par des SiC et que cet avantage s'accroît avec la baisse du courant les traversant. Ainsi, un onduleur ayant des semi-conducteurs SiC en remplacement des SI offre un rendement supérieur d'environ 2 % sous charge élevée et jusqu'à 10 % sous faible charge. Avec des MOSFET SiC le gain peut atteindre 12 %.

L'avantage est encore plus flagrant lorsque la tension est doublée pour atteindre 800 V, une valeur prévue sur les véhicules premium. L'emploi d'IGBT SI génère dans ce cas de fortes pertes et leur remplacement par des semi-conducteurs SiC permet d'améliorer de 10 % le rendement moyen de toute la chaîne de traction sur un cycle WLTC.

En outre, plus besoin d'avoir recours à un circuit de refroidissement liquide lors d'un dégagement de chaleur, un refroidissement passif pouvant être suffisant. Autre conséquence, les dimensions d'un système électronique peuvent être réduites jusqu'à 80 % dans les cas les plus extrêmes, et sa masse est aussi abaissée dans une moindre mesure.
Les Tesla Model 3 et Model S utilisent déjà quelques composants SiC produits par le français STMicroelectronics, et plusieurs constructeurs ont déjà annoncé l'emploi de MOSFET au SiC dans des véhicules de grande série lancés en 2020 ou 2021.

Les GaN complètent la seconde révolution

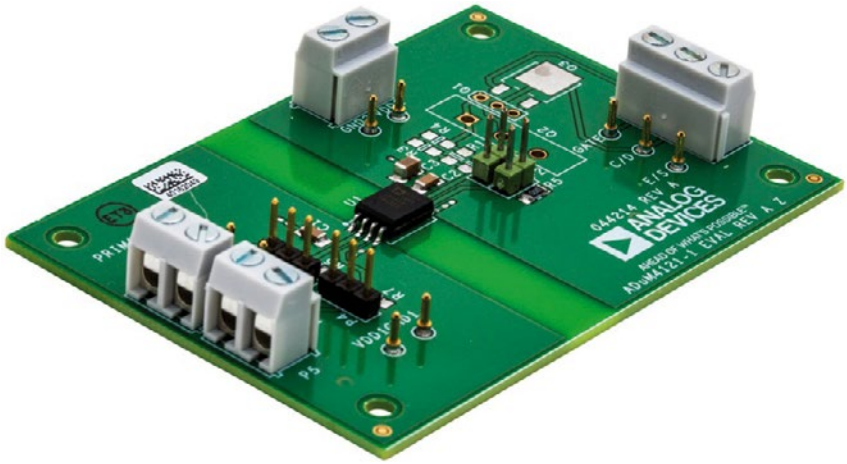
Également catalogués « à large bande interdite », les semi-conducteurs au nitrure de gallium (GaN) sont tout aussi intéressants et accompagnent cette seconde révolution de l'électronique de puissance. Leur technologie est relativement récente puisque les premiers développements par le CNRS CRHEA datent de 1997 et, en 2012, le programme MeGaN (More Electric Gallium Nitride), piloté par Renault et en partenariat avec notamment le CEA- Leti et Valeo, avait permis d'améliorer leurs performances à haute fréquence et haute température.

Les avantages des semi-conducteurs GaN sont légèrement différents de ceux procurés par les SiC : leur tension maxi et leur fréquence de découpage sont supérieures, pouvant ainsi atteindre des fréquences de près de 10 MHz et transférer près de 10 kW sous 600 V. Leur résistance à haute température et leur capacité de transfert de puissance sont également élevées, sans pour autant atteindre le niveau des SiC.

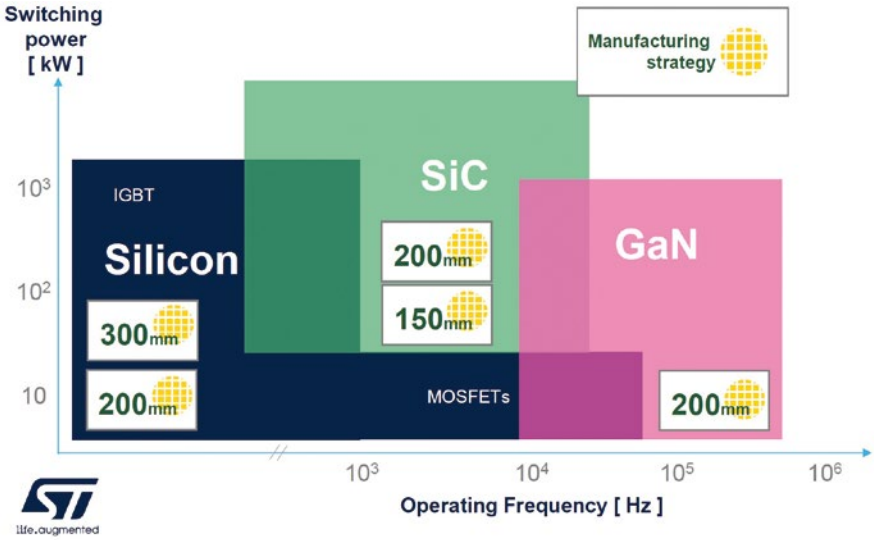
Ce sont donc de bons candidats pour des chargeurs AC/DC bidirectionnels et convertisseurs DC/DC basse et haute tension efficients car leur très haute fréquence permet de fournir un signal plus pur, et ainsi un meilleur rendement. La réduction des pertes limitant la production de chaleur, des chargeurs embarqués à semi-conducteurs GaN pourraient être refroidis uniquement par une circulation d'air plutôt que d'eau. Combinés à l'emploi d'éléments pas-

LARGE BANDE INTERDITE

**Un semi-conducteur dit « à large bande interdite » fonctionne entre la bande de valence et la bande de conduction, soit une largeur supérieure à celle du silicium.
Les matériaux les plus prometteurs de cette famille sont le SiC et le GaN, mais des travaux sont également en cours avec le diamant (C) et le nitrure d'aluminium (AlN). Des recherches sont aussi envisagées sur des semi-conducteurs « à ultra-large bande interdite » tels que l'oxyde de gallium (Ga_2O_3) et le nitrure d'aluminium-gallium (AlGaN).**



Convertisseur SiC/GaN développé par Analog Devices



Gamme de semi-conducteurs Si, SiC et GaN proposés par STMicroelectronics

sifs plus petits en raison de la fréquence élevée, la densité de puissance est supérieure : l'encombrement d'un chargeur de 11 kW passe ainsi de 8 l à 5,7 l. Il est à noter que l'amélioration du rendement des chargeurs réversibles et des convertisseurs DC/DC est doublement payante puisque le courant circule dans les deux sens sur un cycle complet d'utilisation.

Les semi-conducteurs GaN sont également attendus dans le marché en plein essor du 48 V car ils permettraient de fournir des convertisseurs DC/DC d'un rendement de 98 % et de doubler leur densité de puissance pour atteindre 2,7 kW/l. Les GaN sont également bien adaptés à la technologie des lidars, capteurs de détection d'environnement incontournables des systèmes d'aide à la conduite et de conduite autonome.
Les premières applications de GaN en automobile devraient être commercialisées fin 2021.

Un marché en plein essor

Il convient de rappeler que, selon les études du cabinet de conseil en stratégie BIPE commandées par la PFA (Plateforme de la Filière Automobile), les véhicules à batterie, hybrides rechargeables et à pile à combustible représenteront 20,5 % du marché mondial en 2035, contre 3 % actuellement (scénario Green Constraint). Il convient également d'ajouter l'équipement 48 V – onduleur et convertisseur 48 V/12 V – qui pourrait équiper jusqu'à la moitié des véhicules hybrides. En Europe, en 2030, tous les véhicules légers disposeront d'un onduleur et d'un convertisseur DC/DC, dont 50 à 60 % seraient en 48 V. Un tiers des véhicules de ce marché serait équipé d'un chargeur embarqué 400 ou 800 V.

Les systèmes d'aide à la conduite de niveau 2+ et 3 ainsi que de conduite autonome (niveau 4 et 5), également en plein essor, sont un autre domaine d'emploi des semi-conducteurs. Le marché des systèmes de niveau 2 et 3 est en progression (+12 % pour le niveau 2+ entre 2019 et 2020 selon IHS) mais les projets de niveau 4 et 5 semblent avoir été retardés.

En 2022, un véhicule à batterie de segment premium devrait ainsi contenir 2 263 $ de semi-conducteurs contre 1 177 $ pour un véhicule thermique, alors que cette valeur serait de 963 $ dans un hybride de milieu de segment contre 502 $ pour un thermique. Le marché des semi-conducteurs en automobile passerait de 36,1 milliards $ en 2018 à 54,9 milliards $ en 2023.

Selon une étude STMicroelectronics/IHS, la valeur totale des semi-conducteurs de toutes les technologies embarquées dans un véhicule devrait progresser, entre 2019 et 2023, de 28,8 % grâce à l'électrification, et de 17 % grâce aux ADAS. En 2023, cette valeur moyenne atteindrait environ 400 $ sur un véhicule thermique, 700 $ sur un hybride et 1 000 $ sur un électrique (dont la moitié dans la chaîne de traction).

Les semi-conducteurs SiC et GaN vont investir les chaînes de traction électriques et les lidars. STMicroelectronics table sur un taux de croissance des SiC en automobile de 47 % entre 2020 et 2024 alors que celui des IGBT Si serait de 26 %. Le bureau d'analyse britannique OMDIA estime que l'équipementier détient plus de la moitié de la part de marché des MOSFET SiC.

Marco Monti, président de ADG représentant la division des produits automobiles et discrets de STMicroelectronics, a ainsi annoncé en novembre dernier : « *Nous accélérons notre taux d'attribution avec plus de 68 programmes actifs, répartis à parts égales entre l'automobile et l'industrie. Nous sommes aujourd'hui partenaire de nombreux leaders du marché automobile et industriel, avec des programmes de production à grand volume. Nous ambitionnons d'atteindre un chiffre d'affaires d'un milliard de dollars d'ici 2025.* »
L'automobile n'est pas seule à bénéficier des SiC et GaN : ces derniers peuvent équiper potentiellement de nombreux moteurs électriques (électro-ménager, bâtiment, etc.), éclairages LED, systèmes de communication 5G, datacenters, dispositifs d'énergie solaire et moyens de stockage d'énergie.

PREMIER SIC AUTOMOBILE

La première application de semi-conducteurs SiC en automobile date de 2014 pour un chargeur embarqué. En 2018, Tesla fut le premier constructeur automobile à intégrer des MOSFET SiC, ces semi-conducteurs étant implémentés dans l'onduleur de la Model 3.

De nombreux défis techniques en cours

Le défi technique actuel est d'atteindre le taux de fiabilité élevé couramment rencontré dans l'industrie automobile. Les semi-conducteurs SiC arrivent à maturité mais ce n'est pas encore le cas pour les GaN.

Le coût est également supérieur. Les puces semi-conductrices sont obtenues à partir de plaquettes circulaires en silicium ou en carbure de silicium appelées « wafers ». Leur procédé de fabrication passe par plusieurs processus chimiques et physiques afin que leur surface soit dotée de structures très fines qui formeront plus tard des puces de moins d'1 mm d'épaisseur, processus qui peut demander jusqu'à 14 semaines. L'augmentation du diamètre des wafers a permis de réduire les coûts de production, ceux des Si atteignant désormais 300 mm (12 pouces, parfois nommés pizza-pie !). Des recherches sur des wafers de 450 mm (18 pouces) sont en cours, mais l'accroissement du diamètre augmente la part de zones mortes en raison d'impuretés ou de défauts de fabrication. Le passage du 12 au 18 pouces devrait réduire le coût au cm^2 de 25 à 30 %.

La fabrication de SiC requiert le dépôt de plusieurs couches et le temps de cycle, plus long que celui du Si, accroît son coût. Celle des GaN présente l'avantage d'utiliser des wafers à base de silicium mais le dépôt de l'épitaxie demande une grande maîtrise.

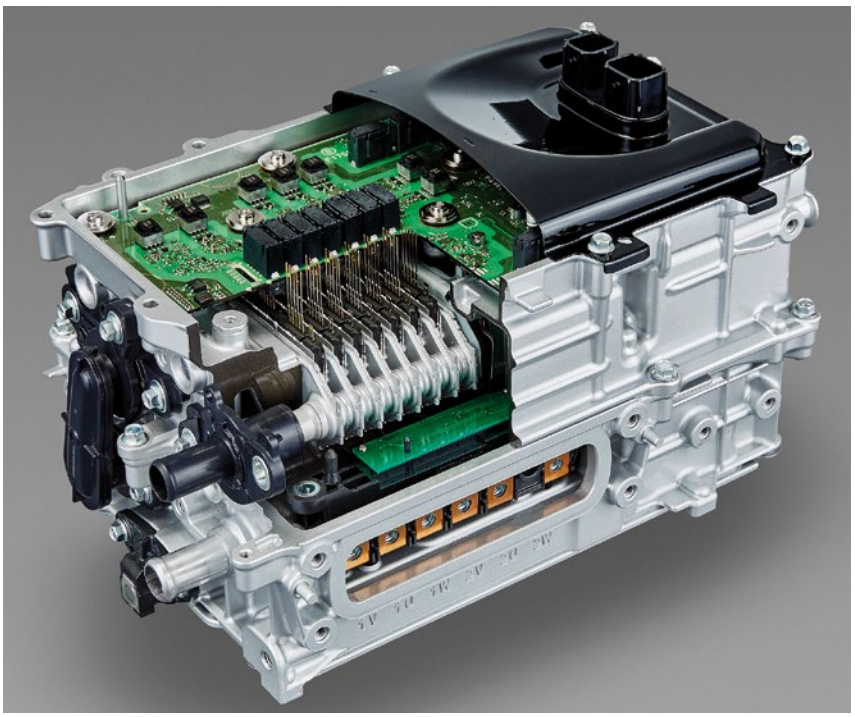
Les semi-conducteurs SiC sont fabriqués à partir de wafers de 150 mm (6 pouces) de diamètre, et Toyota estime qu'un wafer peut fournir 6 véhicules électriques. Des futurs wafers de 200 mm (8 pouces) de diamètre feront baisser le coût de production. Les semi-conducteurs GaN devraient être produits sur des wafers de 200 mm et les projections montrent que les coûts du GaN sur Si devraient être très proche des semi-conducteurs Si d'ici à 2025. Structurellement, le SiC restera plus cher que le GaN à cause du process de fabrication nécessitant un temps de cycle plus long.

Une industrie en mutation

Si ce marché est en plein essor, le développement des capacités de production n'est pas encore assuré en raison du rendement

PREMIERS SIC

La première diode au SiC a été brevetée dès 1906 par l'Anglais Henry Harrison Chase Dunwoody. La première commercialisation d'un transistor SiC par Roma date de 2010.



En première mondiale, un refroidissement sur les deux faces a été introduit sur la Prius IV afin de réduire les écarts de température dans les composants

limité des dépenses d'investissement de capital (CAPEX). Par ailleurs, l'explosion de la demande, particulièrement pour la téléphonie, a engendré une pénurie de puces qui pénalise l'industrie automobile. Apple et Huawei sont, eux aussi, touchés par ce phénomène qui s'est accru lors des deux vagues de pandémie, retardant le lancement de leurs produits 5G. L'approvisionnement des composants électroniques est actuellement sous tension.

Cet essor nécessite également des réorganisations industrielles et des manœuvres sont en cours, pour preuve le grand nombre d'acquisitions de sociétés liées aux puces SiC observé ces dernières années. Jérome Boudonnet, directeur des ventes du secteur automobile pour Siemens Digital Industries Software, le constate : « *Le marché des semi-conducteurs est particulièrement bouleversé. Auparavant, il y avait des spécialistes pour chaque couche, par exemple TSMC vendait ses semi-conducteurs à Qualcomm qui produisait des puces et les vendait à Samsung. Aujourd'hui, Samsung et Apple fabriquent leurs propres puces.* »

La tendance des fournisseurs de produits finaux est ainsi de développer leurs propres puces, et ce phénomène touche également les constructeurs automobiles. Jérome Boudonnet : « *Tesla a été le disrupteur en bouleversant la donne puisqu'il a développé ses propres puces et sous-traité leur fabrication notamment par la société française STMicroelectronics. Ce constructeur prend la même voie qu'Apple qui, pour son iPhone, face aux besoins d'intégration et de maîtrise de l'ensemble des couches – semi-conducteurs, électronique, logiciels embarqués, puces RF –, a dû réaliser des acquisitions et développer lui-même ses produits. Cette maîtrise permet aux industriels de contrôler de bout en bout la chaîne de valeur verticale.* »

La stratégie de STMicroelectronics est d'accroître leur intégration verticale, y compris pour les substrats et les MOSFET. Marco Monti l'affirme : « *Notre plan est d'avoir au moins 40 % de notre production intégrée verticalement d'ici 2024.* » Sur ces dernières années, le fabricant a acquis Norstel AB, a confirmé un partenariat avec Semikron pour les solutions IGBT et SiC, et signé des accords avec SiCrystal et Cree pour la fourniture de SiC sur wafer de 150 mm. Quant aux GaN, STMicroelectronics a complété son développement interne par l'acquisition de Exagan et par un partenariat avec TSMC sur les applications 100 V et 650 V.

AUTONOMIE ALLONGÉE

Infineon avance que le remplacement des semi-conducteurs SI par des SiC augmente l'autonomie des véhicules électriques de 5 à 10 %.

Marco Monti : « *Afin de répondre à nos ambitions de leadership, nous avons défini une stratégie de fabrication basée sur deux voies différentes : un wafer de 200 mm avec notre propre technologie propriétaire dans la ligne de fabrication que nous construisons dans notre usine de Tours, et une activité de fabrication de 150 mm chez TSMC, en utilisant la technologie avec laquelle nous coopérons.* »

Les opportunités pour la France

L'immense marché des batteries de traction pour véhicules électriques est détenu par l'Asie et, dans une moindre mesure, par les Etats-Unis. Le déploiement de l'électronique de puissance va-t-il échapper à l'Europe ? Quelles sont les chances françaises ?

La France dispose d'une bonne base industrielle avec deux constructeurs automobiles de dimension mondiale via les rapprochements et alliances, ainsi que d'équipementiers de renom. Côté filière électronique, le pays compte sur STMicroelectronics qui est l'un des trois acteurs majeurs mondiaux pour l'automobile, et sur Elvia PCB, premier fabricant français de circuits imprimés et cinquième au niveau européen. La France peut également compter sur des laboratoires reconnus tels que le CEA, Laplace, Ampère, ainsi que sur plusieurs IRT. Concernant la formation, le pays dispose de nombreuses écoles d'ingénieurs, et d'initiatives telles que le projet « E-Mobility Academy » du pôle MOV'EO/ ARIA Normandie ou d'offres de formation proposées par Renault et IFPEN.

Lancé en 2019 et d'un budget de 5 milliards d'euros, le plan Nano 2022 soutenant la filière française travaillant sur la micro et la nanoélectronique, comprend également un volet sur les semi-conducteurs de puissance.

L'industrie française de l'électronique de puissance bénéficie d'une légère avance sur la Chine et de positions fortes dans certains domaines. Afin de bénéficier de cette opportunité et de lever les freins, un consensus des filières automobile et électronique a été créé, réunissant les acteurs automobile, industriels et institutionnels français compétents et reconnus en électronique de puissance.

Rémi Bastien, directeur de ce programme « Electronique de puissance », nous explique les enjeux et les conditions de réussite dans notre interview qui suit ●

RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ESSENCE

Toyota estime que l'introduction de semi-conducteurs SiC en remplacement des Si permet de réduire de 10 % la consommation d'essence de ses hybrides, selon le cycle d'essais japonais JC08.

Interview
Rémi Bastien

Directeur du programme
“Electronique de puissance”

“Le moment est venu de mettre en place une industrie française de l’électronique de puissance”

Quelle est la genèse du programme « Electronique de puissance » ?

La valeur d’un véhicule électrique (autonomie, prix, etc...) dépend bien sûr de sa batterie et du rendement du moteur électrique, mais également de l’électronique de puissance qui se place entre ces deux systèmes. Nous avons organisé, avec le soutien de la SIA, un « grand format » lors d’une réunion du Comité Technique Automobile de la filière afin de partager les connaissances et, étant donné que je suis également membre du bureau de la filière électronique en tant que représentant de l’automobile, nous avons rapidement formé un groupe réunissant les deux filières. Notre premier constat est que 100 % de la production automobile en 2030 sera électrifiée – hybrides, hybrides rechargeables et électriques – pour respecter les objectifs d’émissions de CO_2. Cela signifie que chaque véhicule sera doté d’un onduleur et d’un convertisseur de tension continu et, dans le cas de véhicules rechargeables, d’un chargeur, le tout dans une gamme de tension allant de 48 à 800 V. Cette électrification totale du marché représente un changement considérable. L’autre constat est qu’une seconde mutation est également en cours, celle du déploiement des semi-conducteurs SiC et GaN. La montée en cadence de la production de l’électronique de puissance et le développement technologique présentent un double défi et donc également une opportunité pour l’industrie française.

Cette opportunité française a-t-elle des chances de percer le marché ?

Il sera difficile de relocaliser une industrie de semi-conducteurs au silicium déjà bien implantée en Asie. En revanche, le développement de technologies qui ne sont pas encore matures permet de remettre les acteurs sur une même ligne de départ.

Mais les industriels actuels des semi-conducteurs Si ne garderaient-ils pas une avance au lancement des SiC et GaN ?

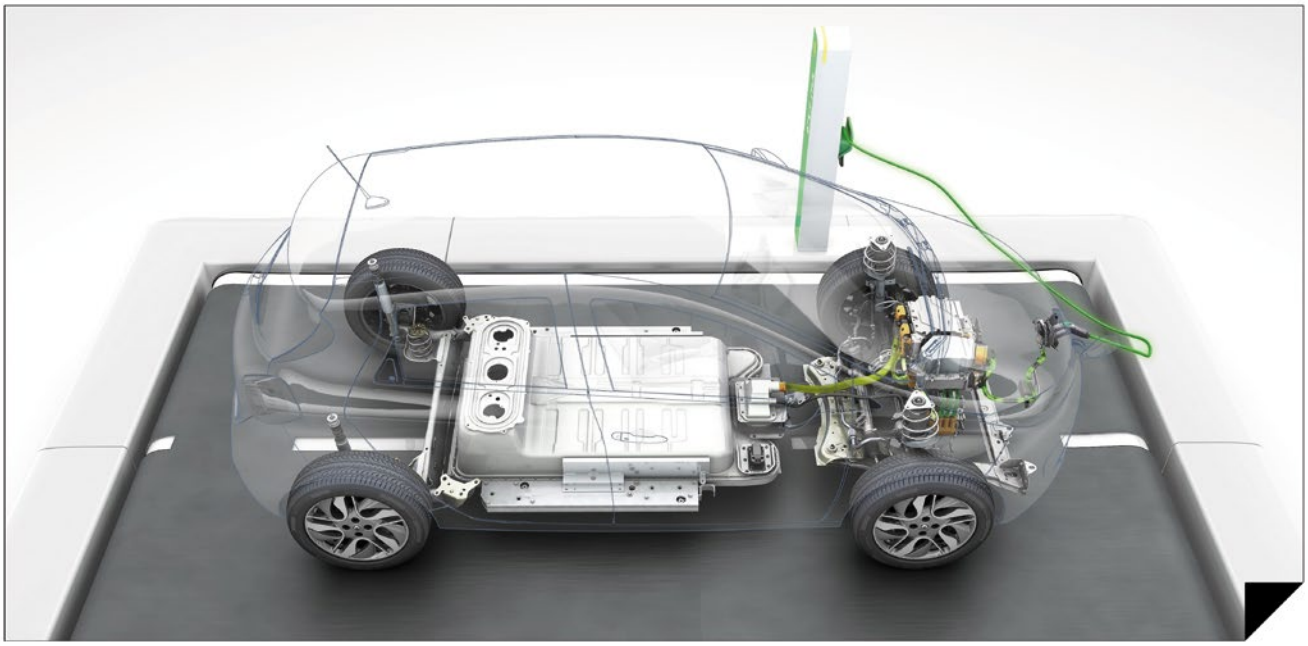
Pas nécessairement, car les producteurs de semi-conducteurs Si souhaitent optimiser leur investissement. Les techniques de fabrication sont par ailleurs très différentes. Autour de ces nouveaux composants, il y a également tout un écosystème à mettre en place afin de proposer une offre complète d’électroniques de puissance, par exemple assembler différents éléments électroniques actifs et passifs sur des PCB. C’est l’objectif de ce programme : produire en France des produits d’électronique de puissance compétitifs techniquement et économiquement.

Les marchés des SiC et GaN sont-ils au même niveau de maturité ?

La technologie des SiC est mature. La fourniture de wafers est détenue par deux producteurs, un américain et un japonais, et il n’y a pas encore de fournisseurs chinois de SiC. L’industrie automobile absorbe les deux tiers de la production actuelle et la demande va rapidement s’accélérer. Quant aux GaN, les applications seront majoritairement orientées en dehors de l’automobile dans un premier temps, par exemple dans des serveurs internet ou dans des chargeurs de smartphone et PC. Probablement que 10 % seulement des ventes de GaN seront dédiés à l’automobile en 2030.

Comment ces produits pourront-ils être compétitifs ?

La production d’électronique de puissance actuelle n’est pas réalisée sur des cadences élevées car elle ne représente qu’environ 10 % du marché total de l’électronique. L’augmentation considérable de la demande permettra de fortement automatiser la production et nous pensons



alors supprimer le différentiel de coût entre France et Asie. Un autre atout de la France est de pouvoir produire avec une empreinte carbone inférieure grâce à son électricité décarbonée à plus de 85 %.

Quels seront ces futurs fabricants ? Des fabricants traditionnels de la filière électronique ou, pourquoi pas, des constructeurs automobiles ?

Tout est encore ouvert. Ainsi, Tesla a déjà intégré en partie cette production en opérant du « Built-to-print » en collaboration avec des fournisseurs de rang 2. Des équipementiers de rang 1 peuvent également assembler les composants. Un « power module » pourrait être produit par un fournisseur de composants qui étend son champ d'action. Des équipementiers de rang 1 et 2 peuvent entrer dans ce marché selon leur stratégie d'entreprise. Les constructeurs devraient se positionner à l'étage supérieur du cycle de production. Notre programme, qui s'appuie sur les deux filières, engage avec ses experts une action de standardisation des sous-ensembles afin d'augmenter les volumes et de proposer des solutions plus compétitives.

Quelle est la feuille de route de ce programme ?

Ce marché n'est pas linéaire entre aujourd'hui et 2030. L'émergence à grande cadence des semi-conducteurs à large bande est prévue pour 2025 et nous souhaitons tout mettre en place pour disposer d'une offre à cette date. Nous avons déjà bien avancé. Deux « semaines de l'électronique de puissance » ont eu lieu en juillet et septembre afin de générer plus de 40 projets. Nous avons constitué un comité d'expert grâce à la SIA qui examine ces projets et va les accompagner pour les faire réussir. Par ailleurs, nous travaillons sur la dimension des compétences pour qu'elles soient en place au plus vite. La fenêtre de tir est étroite et nous saurons, dès 2022, si nous sommes en trajectoire vers le succès.

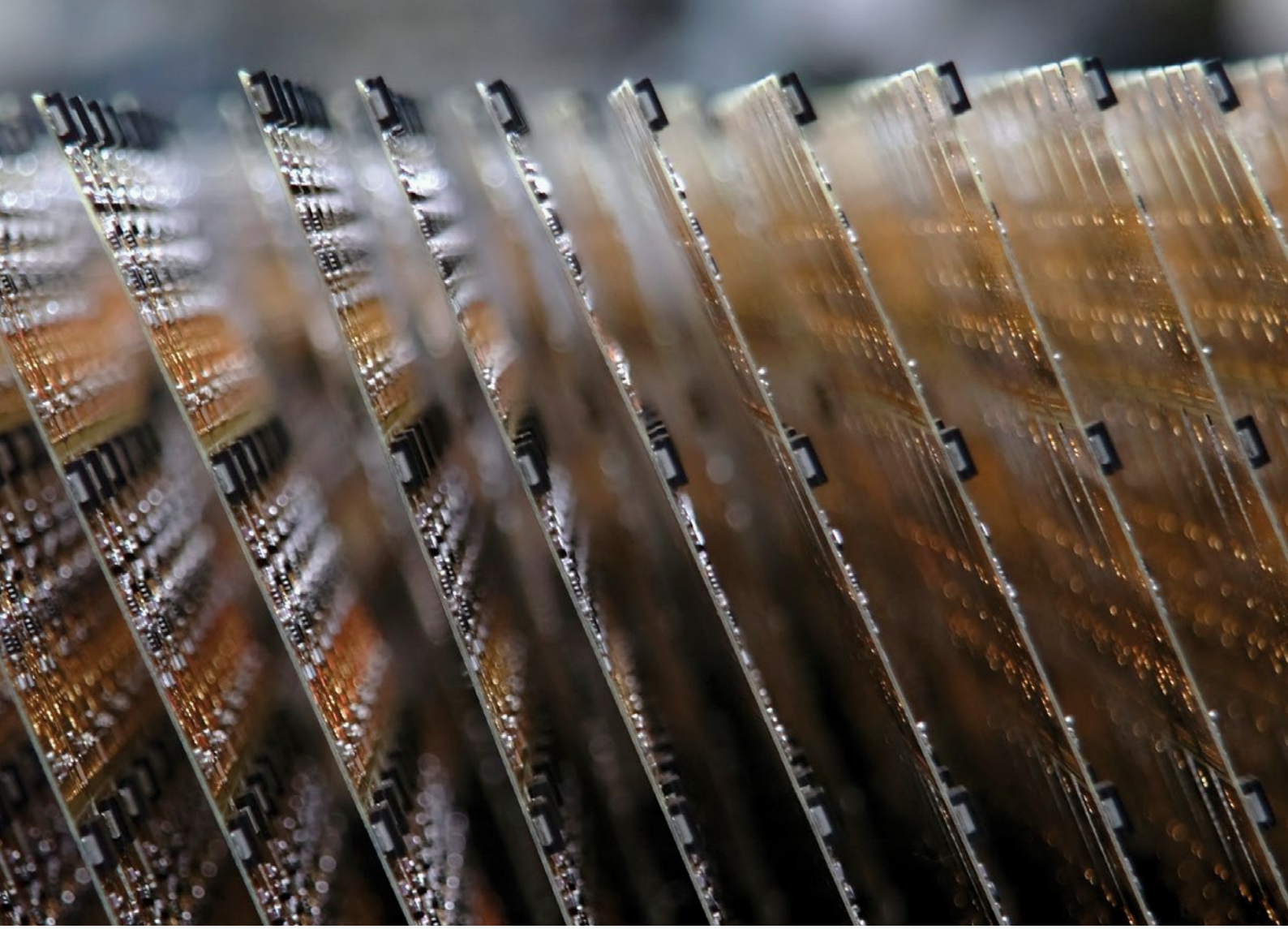
Pensez-vous que la motivation pour ce développement national existe à tous les niveaux ?

La motivation est portée par le business. Le chiffre d'affaires de l'électronique de puissance en Europe est de l'ordre de 1,5 milliard alors qu'il dépassera 10 milliards en 2030. Si la France s'adjuge un quart de ce marché, le business serait de 2,5 milliards. C'est surtout un marché durable car il concerne tous les véhicules à basses émissions ainsi qu'à plusieurs actionneurs de forte consommation. De plus, les industries aéronautique et ferroviaire seraient potentiellement intéressées afin de bénéficier de coûts inférieurs. Il est par ailleurs important de ne pas dépendre de l'Asie.

Nous devrions éviter ce qui s'est passé pour les batteries ?

Les batteries lithium-ion au fer-phosphate sont nées en France, et pourtant 100 % de la production actuelle est réalisée par l'Asie. Rapatrier une partie de cette production déjà installée là-bas est désormais compliqué. Il est temps de mettre en place une industrie française de l'électronique de puissance, et c'est ce à quoi ce programme entend répondre ●

Entré chez Renault en 1982, diplômé de l' ECAM Lyon, Rémi Bastien occupe jusqu'en 2002 différents postes d'ingénierie sur les moteurs et devient en 2002 directeur du contrôle électronique moteur. Il est nommé en 2007 directeur adjoint de l'ingénierie mécanique en charge de la stratégie et innovation, avant d'être promu en 2009 directeur de la recherche et de l'innovation du groupe Renault. En 2015, Rémi Bastien devient « Alliance Global Director » Renault/Nissan pour la prospective sur le véhicule autonome, et président de VEDECOM en 2016. Il occupe aujourd'hui le poste de directeur de la prospective automobile du groupe Renault. Il préside, en parallèle, le pôle de compétitivité MOVEO tout en étant également délégué général et trésorier de la FISITA, membre du « think tank » de l'URF et, depuis le printemps dernier, Directeur du Programme Electronique de Puissance à la PFA en coordination avec la filière électronique.



Feature by Yvonnick Gazeau

POWER ELECTRONICS: A MAJOR FRENCH OPPORTUNITY

Car electrification and digitization is generating a big demand for power electronics. Simultaneously, new semiconductor technologies are now emerging. There are multiple revolutionary technological and industrial changes ongoing in the automotive and electronics sectors, but these challenges could also become opportunities for France.

An on-board charger in an electric vehicle converts alternating current into direct current, with a converter changing the voltage and an inverter feeding the electric motor phases. High power levels are also needed for power steering, controlled shock absorbers, driver assistance systems and many other items of car equipment. These devices all employ electronic control of high current and/or voltage, a technology we call power electronics.

Power electronics is not a new technology. It dates back to the end of the 19th century with the invention of AC-DC (alternating current/direct current) rectifiers in 1896. DC-DC (direct current/direct current) rectifiers came in 1924, and the DC-AC inverter the following year. The first power switches were the mercury vapour rectifiers designed in 1902, followed by valve rectifiers, the latter being very representative of the electronics used in the radio and television sets of the time. They were followed by diodes, transistors and thyristors, made possible by the use of silicon (Si). Being more compact and capable of running at higher currents and frequencies, Si semiconductors, mainly power MOSFETs which appeared in 1975 and then power IGBTs in 1983, represented the first revolution in the field of power electronics.

Chopped motor voltage

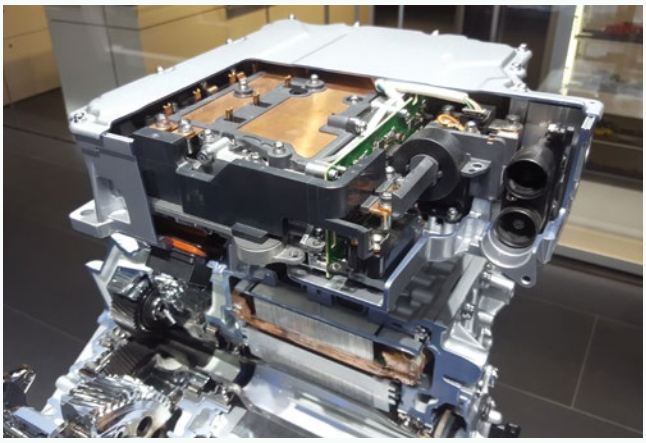
The voltage and current across the coils of electric motor stators result from the switch-on and switch-off times generated by the inverter. Voltage interruptions are generated in the inverters by thyristors, IGBTs, diodes or silicon MOSFETs. The maximum frequency generally varies between 10 kHz and 50 kHz depending on the application. Some inverters, like the one used in the Model 3 Tesla, generate modulation at three voltage levels - max, half and zero - to better approximate a perfect sinusoid.

SiCs kick off the second revolution

Semiconductors are used in diodes and transistors to control current by means of very high frequency interruptions. However, these interruptions require a high voltage differential, which results in a loss of energy, dissipated as heat. The power electronics of an electric power train causes approximately 25% of all the electrical losses, 20% of which are directly related to power semiconductors alone.

Deploying silicon carbide (SiC) chips to replace silicon chips enables the chopped voltage differential to be reduced, even at high frequencies; an identical result would be obtained with a drop in the circuit resistance. Although SiC diodes first appeared in 2002, their use was limited to low currents and only recently have manufacturing techniques made this type of diode compatible with high power levels.

Classified as «Wide Band Gap» semiconductors, today's SiCs offer significant improvements over silicon semiconductors: they allow four times the maximum voltage, three times the current chopping frequency (faster electron speed) and twice the maximum temperature (better thermal conductivity and higher melting temperature). This enables them to reach frequencies



Audi e-tron inverter

of almost 100 kHz and transfer 100 kW at 800 V, or even 1 MW at 1200 V in the case of the most efficient of them.

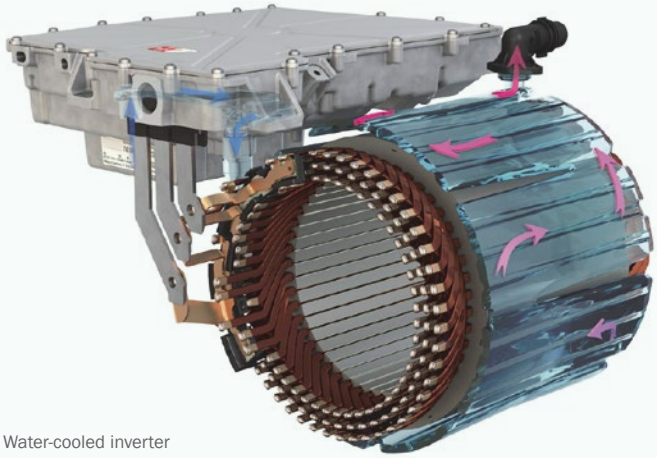
These capabilities place them in a good position for future powerplant inverters and for DC/DC voltage converters.

STMicroelectronics estimates that average switching function losses are halved when Si chips are replaced by SiCs, and that this advantage increases as the current conducted through them decreases. For example, an inverter with SiC semiconductors instead of Si semiconductors offers efficiency about 2% higher under high load and up to 10% under low load. With SiC MOSFETs the increase can be up to 12%.

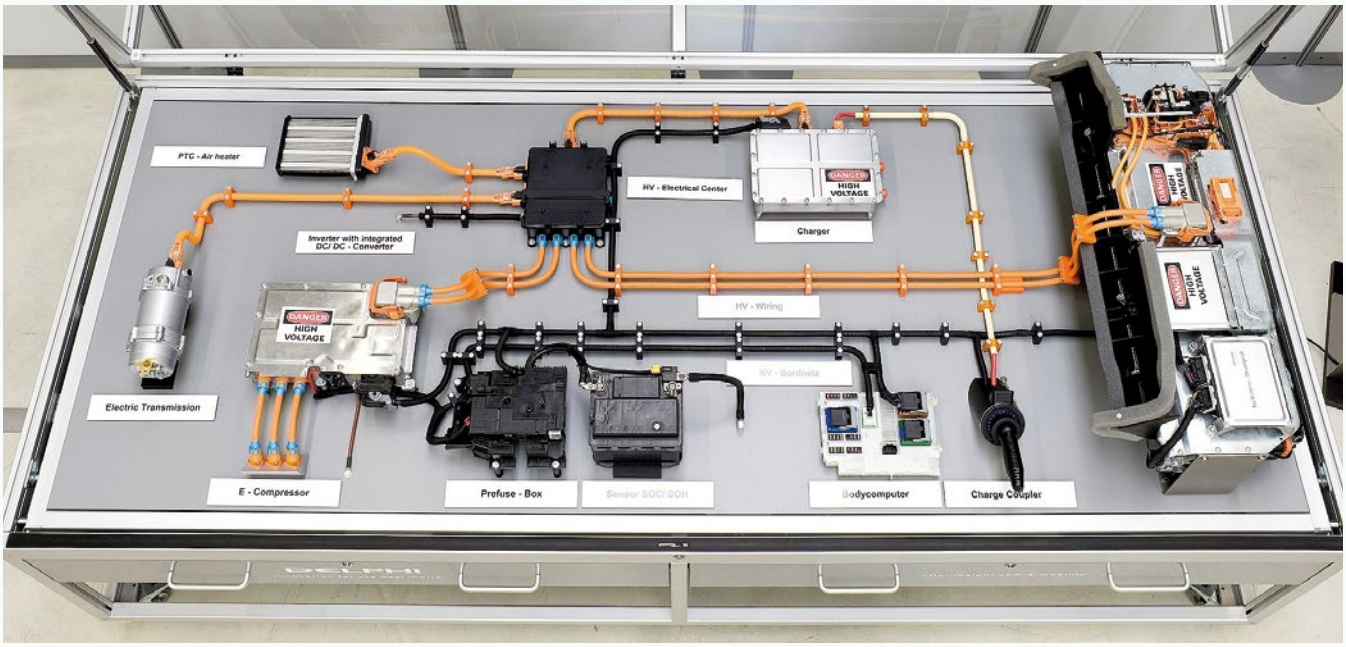
The advantage is even more remarkable when the voltage is doubled to 800 V, which premium vehicles are expected to adopt. The use of Si IGBTs generates high losses in such cases but replacing them by SiC semiconductors can improve the average efficiency of the entire drive train by 10% in a WLTC cycle.

There is also no need to use a liquid cooling system when heat is generated, and passive cooling may be sufficient. Another spinoff is that the size of an electronic system can be reduced by as much as 80% in the most extreme cases, combined with a somewhat smaller weight reduction.

The Model 3 and Model S Tesla cars already use some SiC components produced by France's STMicroelectronics, and several makers have already announced the use of SiC-based MOSFETs in mass production vehicles to be launched in 2020 or 2021.



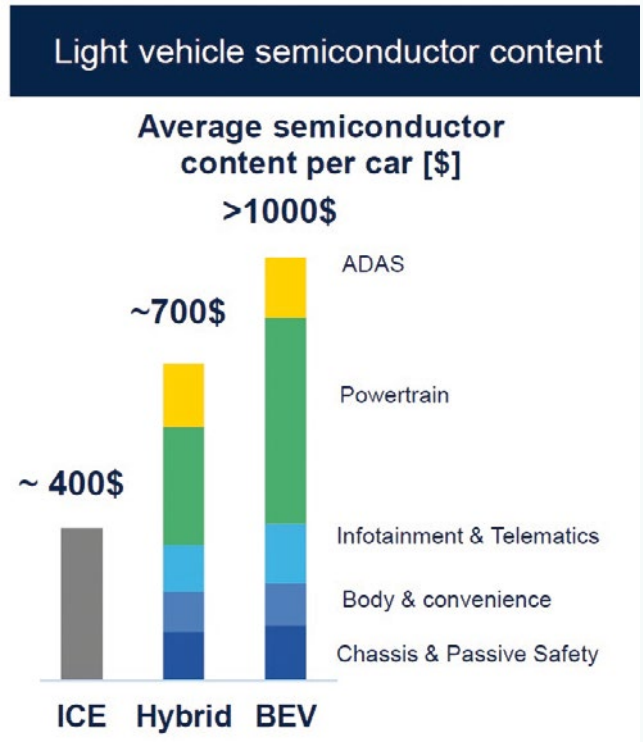
Water-cooled inverter



GaN supporting the second revolution

Equally interesting and accompanying this second revolution in power electronics are gallium nitride (GaN) semiconductors, also listed as «wide band gap». They use a relatively recent technology as the initial developments by CRHEA CNRS occurred in 1997 while, in 2012, the MeGaN (More Electric Gallium Nitride) program, headed by Renault and in partnership with the Leti and Valeo CEA in particular, enabled them to improve performance at high frequencies and high temperatures.

The advantages offered by GaN semiconductors differ slightly from those of SiCs: their overvoltage and chopping frequency are higher, capable of reaching frequencies near 10 MHz and of transferring almost 10 kW at 600 V. Their high-temperature resistance and power transfer capability are also high, even if they do not reach SiC levels.



Distribution of average semiconductor values by vehicle type

This makes them good candidates for efficient two-way AC/DC chargers and low- and high-voltage DC/DC converters because their very high frequency supplies a cleaner signal and, accordingly, higher efficiency. With lower losses, less heat is generated, so on-board GaN chargers can be cooled solely by air circulation rather than water circulation. When combined with the use of smaller passive elements due to the high frequency, power density is higher: the space required by an 11 kW charger thus shrinks from 8 l to 5.7 l. Note that the improved efficiency of reversible chargers and DC/DC converters pays off twofold since the current flows in both directions during a full duty cycle.

GaN semiconductors are also expected in the booming 48V market as they would allow manufacturers to supply DC/DC converters having 98% efficiency and double their power density to 2.7 kW/l. GaNs are also well suited to lidars, a type of environmental detection sensor that is essential for driver assistance and autonomous driving systems.

The first GaN applications to the car are expected to be put on sale by the end of 2021.

A booming market

Let's bear in mind that battery, plug-in hybrid and fuel cell vehicles will represent 20.5% of the world market in 2035 according to studies by the BIPE strategy consultancy firm commissioned by the PFA (Plateforme de la Filière Automobile), compared with 3% at present (Green Constraint scenario). We should also add 48 V equipment - 48 V/12 V inverter and converter - which could be fitted to half of the hybrid vehicles. In Europe, by 2030, all light vehicles will have an inverter and a DC/DC converter, and 60% will be at 48 V. One third of the vehicles in this market will have a 400 or 800 V on-board charger.

Another strongly growing area for the use of semiconductors is that of driver assistance systems (Levels 2+ and 3) and autonomous driving systems (Levels 4 and 5). The market for Level 2

Wide band gap

A so-called wide band gap semiconductor operates between the valence band and the conduction band, which is wider than that of silicon. The most promising materials in this family are SiC and GaN, but work is also progressing with diamond (C) and aluminium nitride (AlN). Research is also planned on «ultra-wide band gap» semiconductors such as gallium oxide (Ga2O3) and aluminium-gallium nitride (AlGaN).

and 3 systems is growing - up 12% for Level 2+ between 2019 and 2020 according to IHS - but Level 4 and 5 projects seem to have been delayed.

In 2022, a premium segment battery-powered vehicle should thus contain $2263 worth of semiconductors compared to $1177 for an internal combustion vehicle, while this value would be $963 in a mid-segment hybrid compared to $502 for an ICE vehicle. The automotive semiconductor market will grow from $36.1 billion in 2018 to $54.9 billion in 2023.

According to an STMicroelectronics/IHS study, the total value of semiconductors in all vehicle technologies is expected to increase between 2019 and 2023 by 28.8% through electrification and 17% through ADAS. In 2023, this average value will be about $400 on an internal combustion vehicle, $700 on a hybrid and $1,000 on an electric vehicle (half of which would be in the drive train).

SiC and GaN semiconductors will be used in electric powertrains and lidars. STMicroelectronics is banking on SiCs in the automotive sector growing at a rate of 47% between 2020 and 2024, while Si IGBTs are expected to grow at a rate of 26%. OMDIA, a British analysis bureau, estimates that the OEM maker holds more than half of the market share of SiC MOSFETs.

Marco Monti, ADG chairman representing the Automotive and Discrete Products Division of STMicroelectronics, announced last November: «We are boosting our attribution rate with more than 68 active programs equally split between automotive and industrial areas. Today we are partners with many automotive and industrial market leaders running high-volume production programs. Our ambition is to reach sales of $1 billion by 2025". The automotive industry is not the only one to benefit from SiC and GaN: they can potentially equip a wide range of electric motors (household appliances, buildings, etc.), LED lighting, 5G communication systems, data centres, solar energy devices and energy storage systems.

The many technical challenges not yet overcome

The current technical challenge is to achieve the high level of reliability commonly encountered in the automotive industry. SiC semiconductors are reaching maturity but this is not yet the case for GaN.
The cost is also higher. Semiconductor chips are made from circular silicon or silicon carbide slices called «wafers». Their manufacturing process involves many chemical and physical processes to give their surfaces the very fine structures that will later form chips less than 1 mm thick, a process that can take up to 14 weeks. Increased wafer diameters have reduced production costs, with Si wafers now measuring up to 300 mm (12 inches, sometimes called a pizza pie!). Research into 450 mm (18-inch) wafers is under way, but bigger diameters increase the proportion of dead zones due to impurities or manufacturing defects. Changing from 12 to 18 inches should reduce the cost per cm2 by 25-30%.

SiC semiconductors are made from 150 mm (6 inch) diameter wafers and Toyota estimates that one wafer can supply 6 electric vehicles. Future 200 mm (8 inch) diameter wafers will bring the cost of production down. GaN semiconductors will probably be produced on 200 mm wafers.

A changing industry

Although this market is booming, the requisite production capacity increase is not yet in place due to the limited return on capital investment (CAPEX). In addition, the explosion of demand, especially for the telephone industry, has caused a shortage of chip availability for the automotive industry. Apple and Huawei are also being hit by this phenomenon, which increased during both waves of the pandemic, delaying the launch of their 5G products. Electronic component procurement is currently suffering.

This boom also requires industrial reorganization, and manoeuvres are underway as evidenced by the many buyouts of companies related to SiC chips in recent years. Jérome Boudonnet, Director of Automotive Sales for Siemens Digital Industries Software, says: «The semiconductor market is particularly unsettled. Previously, there were specialists for each layer, for instance TSMC sold its semiconductors to Qualcomm, which produced chips and sold them to Samsung. Today, Samsung and Apple make their own chips."

The trend among end-product suppliers is now to develop their own chips, and this phenomenon is spreading to car manufacturers. Jérome Boudonnet: «Tesla has been the disruptive

The first SiCs

The first SiC diode was patented in 1906 by the English inventor, Henry Harrison Chase Dunwoody. The first time Roma put a SiC transistor on the market was in 2010.

force causing the upheaval by developing its own chips and subcontracting their manufacture, notably to French STMicroelectronics. This manufacturer is taking the same path as Apple, which, faced with the need to integrate and control every layer for its iPhone - semiconductors, electronics, embedded software, RF chips - has had to buy out other entities and develop its products itself. This control enables companies to control the vertical value chain from end to end."

STMicroelectronics' strategy is to increase their vertical integration, including substrates and MOSFETs. Marco Monti says: «Our plan is to have at least 40% of our production vertically integrated by 2024.» Over the past few years, the company has bought out Norstel AB, confirmed a partnership with Semikron for IGBT and SiC solutions, and signed agreements with SiCrystal and Cree to supply SiCs on 150 mm wafer. As for GaN, STMicroelectronics has completed its internal development with the buyout of Exagan and a partnership with TSMC for 100V and 650V applications.

Marco Monti: «To meet our leadership ambitions, we have defined a manufacturing strategy based on two different routes: a 200 mm wafer with our proprietary technology in the manufacturing line which we are building in our Tours factory, and a 150 mm manufacturing venture at TSMC, using the technology with which we are cooperating."

Opportunities for France

The huge market for electric vehicle drive batteries is held by Asia and, to a lesser extent, by the United States. Will Europe be left out of the deployment of power electronics? What are the chances for France?

France has a good industrial base with two world-class car manufacturers thanks to mergers and alliances, as well as having renowned equipment manufacturers. In the electronics sector, France relies on STMicroelectronics, one of the world's three major players in the automotive industry, and on Elvia PCB, France's leading printed circuit board manufacturer and the fifth largest in Europe. France can also count on well-known laboratories like the CEA, Laplace, Ampère, as well as several TRIs. In terms of training, the country has many engineering schools and promising ventures such as the «E-Mobility Academy» project at the Normandy MOV'EO/ARIA centre, and the training offers of Renault and IFPEN.

With a budget of €5 billion, the Nano 2022 plan was launched in 2019. It supports the French micro and nanoelectronics sector, and also extends to power semiconductors.

The French power electronics industry has a small lead over China and holds strong positions in some fields. To take advantage of this opportunity and get things moving, a consensus of the automotive and electronics industries has been created, bringing together French automotive, industrial and institutional players who are competent and recognized in the world of power electronics.

Rémi Bastien, director of this «Power Electronics» program, explains the challenges and requirements for success in the following interview

Interview
Rémi Bastien
Director of the «Power Electronics» program

"The time has come to set up a French power electronics industry"

What is behind the «Power Electronics» program?

The value of an electric vehicle (range, price, etc...) depends of course on its battery and the efficiency of the electric motor, but also on the power electronics between these two systems. Supported by SIA, we organised a «full scale» project at a meeting of the sector's Automotive Technical Committee to share knowledge and, as I am also a member of the electronics sector's board as automotive industry representative, we rapidly formed a group combining both sectors. Our first observation was that 100% of automotive production in 2030 will be electrified - hybrids, plug-in hybrids and electric vehicles - to meet CO_2 emission targets. This means that each vehicle will be fitted with an inverter and a DC voltage converter and, in the case of rechargeable vehicles, a charger, all working in a voltage range of between 48 and 800 V. This total electrification of the market represents a considerable change. The second observation was that a second change is also underway: the deployment of SiC and GaN semiconductors. The increasing pace of power electronics production and technological development represent a twofold challenge and therefore also an opportunity for French industry.

Is there any chance of this French opportunity breaking into the market?

It will be difficult to relocate a silicon semiconductor industry which is already embedded in Asia. However, the development

of technologies that are not yet mature means that the players could be brought back to the same starting line.

But wouldn't today's Si semiconductor manufacturers still have a head start in launching SiC and GaN?

Not necessarily, because Si semiconductor producers want to optimize their investment. And the manufacturing techniques are very different. A complete ecosystem needs to grow up around these new components in order to offer a full range of power electronics, for example assembling various active and passive electronic elements on PCBs. That is the aim of this program, to produce technically and economically competitive power electronics products in France.

Are the SiC and GaN markets at the same level of maturity?

SiC technology is mature. The supply of wafers is controlled by two producers, one American and one Japanese, and there are as yet no Chinese SiC suppliers. The automotive industry absorbs two thirds of current production and demand will quickly accelerate. As far as GaNs are concerned, applications will be mostly directed to outside the automotive industry at first, for example to internet servers or to smartphone and PC chargers. It is likely that only 10% of GaN sales will be dedicated to the automotive sector in 2030.

How can these products be competitive?

The current production of power electronics is not carried out at high rates because it is only about 10% of the overall electronics market. The considerable increase in demand will allow production to be extensively automated, in which case we will attempt to eliminate the cost differential between France and Asia. Another advantage in favour of France is its ability to make products with a smaller carbon footprint thanks to its electricity that is more than 85% carbon-free.

Who will these future manufacturers be? Traditional electronics industry manufacturers, or could they be car manufacturers?

The field is still wide open. Tesla has already integrated part of this production by running its «Built-to-print» venture in collaboration with tier 2 suppliers. Tier 1 OEMs can also assemble the components. A «power module» could be produced by a component supplier that is expanding its scope. Tier 1 and Tier 2 OEMs can enter this market, depending on their corporate strategy. Manufacturers should position themselves at the top end of the production cycle. Our program, which is based on both industries, is working with its experts to standardize sub-assemblies and thereby increase volumes and offer more competitive solutions.

What is the roadmap of this program?

The market is not linear between now and 2030. Wide bandgap semiconductors are expected to be being produced at high rate by 2025 and we want to make sure that we have everything ready to be offering products by that date. We've already travelled a long way. Two «Power Electronics Weeks» were held in July and September to generate more than 40 projects. We have set up a committee of experts through SIA that is looking at these projects and will be supporting them to ensure they are successful. In addition, we are working on the skills aspect, to be sure that skills are in place as soon as possible. The window of opportunity is narrow and by 2022 we will know whether we are on course for success.

Do you think that there is motivation for this national development at every level?

Motivation is driven by business. The turnover of power electronics in Europe is of the order of 1.5 billion euros, and will exceed 10 billion by 2030. If France wins a quarter of this market, that would be 2.5 billion. The market is essentially sustainable because it concerns every low-emission vehicle as well as several high-consumption entities. Furthermore, the aviation and rail industries might be potentially interested in order to benefit from lower costs. It is also important not to depend on Asia.

Should we avoid what happened with batteries?

Lithium-ion iron-phosphate batteries originate from France, yet 100% of today's production comes from Asia. Repatriating some of the production which moved there is a complicated matter. The time has come to set up a French power electronics industry and this is the goal that this program intends to address ●

Rémi Bastien joined Renault in 1982 and is a graduate of ECAM Lyon. Until 2002, he held various engine engineering positions, becoming the Director of Engine Electronic Control in 2002. In 2007 he was promoted to Executive Vice President, Powertrain Engineering in charge of Strategy and Innovation, before his move up in 2009 to Director of Research and Innovation for the Renault Group. Rémi Bastien became the Renault/Nissan «Alliance Global Director» in 2015, for autonomous vehicle forecasting, and President of VEDECOM in 2016. Currently he is the Director of Automotive Forward Plans for the Renault group. At the same time, he chairs the MOVEO competitiveness centre and is also General Delegate and Treasurer of FISITA, a member of the URF think tank and, since last spring, Director of the Power Electronics Program at the PFA in coordination with the electronics industry.