Vers une révolution verte dans le secteur des transports

Auteur : Karl-Heinz Steinmetz, Directeur général du Secteur Automotive Powertrain
Texas Instruments

Les progrès de l'électronique permettent de développer la motorisation électrique, mais aussi d'améliorer l'automatisation, la sécurité, le confort et la commodité d'utilisation des voitures. Aujourd'hui, l'automobile connaît une véritable révolution. Tous ces changements devraient bouleverser profondément l'expérience automobile telle que nous la connaissons aujourd'hui. Les villes devraient ainsi se remplir peu à peu de voitures électriques sans conducteur et sans émissions qui communiquent entre elles ainsi qu'avec les infrastructures routières.

Les voitures déposeront leurs passagers puis se dirigeront d'elles-mêmes vers des places de stationnement dotées de tapis de recharge à induction où elles pourront faire le plein en attendant leur prochaine utilisation. Les croisements et les autres endroits où les véhicules doivent se mettre à l'arrêt seront également dotés de tapis pour recharger les batteries. Les voitures seront conçues sur mesure pour l'utilisation qui en sera faite et équipées des systèmes de communication permettant à l'ensemble des passagers (puisqu'il n'y aura plus de conducteur) de travailler ou de se divertir. Le confort de ces automobiles sera tel que non seulement le plaisir de voyager sera accru, mais qu'en outre les gens y passeront bien plus de temps qu'aujourd'hui grâce à l'efficacité avec laquelle les routes et l'énergie seront utilisées, contribuant ainsi à reverdir les villes.

L'électronique de pointe ouvre la voie à l'innovation automobile

Que cette vision d'avenir soit pleinement réaliste ou non, une chose est sûre : l'électronique de pointe ouvre la voie à de nombreuses évolutions dans le monde de l'automobile, à commencer par les moteurs. Les constructeurs et les clients se tournent de plus en plus vers des voitures plus ou moins électriques voire hybrides et vers des moteurs à combustion assistée par l'électronique afin d'améliorer l'autonomie des véhicules et de réduire les émissions tout en restant rentables.

Appelé à s'étoffer lentement mais sûrement, le parc de véhicules électriques devrait atteindre 5 % des ventes mondiales d'ici 2025, selon le cabinet d'étude spécialisé IHS Automotive. Dans le même temps, les motorisations hybrides associant un système électrique à un moteur thermique équiperont quelque 22 millions de voitures, soit 20 % du total des ventes mondiales. Si les véhicules hybrides ont le vent en poupe, c'est parce qu'en plus de leur grande sobriété et de leur contribution à la réduction des émissions, ils permettent aux constructeurs de prendre le temps de développer progressivement les technologies nécessaires à l'avènement des voitures entièrement électriques tout en offrant aux clients le temps de s'y habituer. La rapidité de cette transition dépendra surtout des mesures prises par les gouvernements et de la demande du marché.

Le passage à des véhicules hybrides ou électriques, ou plus simplement l'arrivée d'options comme les fonctions start/stop ou la récupération de l'énergie de freinage, sont rendus possibles grâce aux innovations qui ont vu le jour en matière d'électronique, et qui permettent également de gagner en efficacité, en sécurité, en confort, en maniabilité et en automatisation. Les voitures sont dotées de plus en plus de circuits intégrés qui détectent les conditions de circulation, déclenchent des capteurs, convertissent des signaux, assurent la communication entre les systèmes du véhicule et décident de ce qu'il faut faire, le plus souvent sans la moindre intervention du conducteur.

Ces puces doivent pouvoir fonctionner dans des conditions de tension, de puissance, de température et de vibrations extrêmes et leur fiabilité doit être à toute épreuve afin de garantir la sécurité des équipements et des occupants. Texas Instruments (TI) fait partie des principaux

fournisseurs de puces électroniques de pointe pour les systèmes automobiles et offre un vaste portefeuille de solutions innovantes permettant aux constructeurs de concevoir et de construire des voitures plus sobres, plus sûres, plus confortables et plus maniables que jamais.

Une vaste palette de combinaisons entre moteurs électriques et moteurs thermiques
Aujourd'hui, le marché se divise en trois segments : un tout petit segment qui regroupe les amateurs convaincus de voitures électriques, un groupe plus important conquis par les voitures hybrides grâce à leurs dix années de succès, et une large majorité d'acheteurs qui recherchent principalement des équipements électroniques permettant d'améliorer l'efficacité et la performance des moteurs thermiques. Le tableau 1 répertorie les différentes combinaisons possibles en indiquant le degré d'assistance apporté au moteur et/ou au système de propulsion et la réduction de la consommation de carburant réalisée en conduite type par rapport à une voiture standard d'aujourd'hui.
Fonction start/stop et micro-hybrides. Le premier degré d'hybridation, c'est lorsque la voiture est équipée d'un système qui coupe le moteur lorsqu'elle est à l'arrêt et le redémarre lorsqu'elle repart, ce qui permet de réduire légèrement la consommation d'essence en trafic urbain. En ajoutant un système de récupération de l'énergie de freinage et un mode croisière, on obtient une voiture micro-hybride à la consommation encore un peu plus réduite grâce aux économies réalisées sur le chargement de la batterie à partir du moteur. La consommation de carburant peut également être réduite grâce à des systèmes automatisés de sécurité ou de confort de plus en plus fréquents comme les régulateurs de vitesse adaptatifs, qui rendent la conduite encore plus efficace. Ces dispositifs d'assistance peuvent sembler très simples, mais ils requièrent souvent une gestion électronique élaborée. Citons également les mesures permettant de réduire le poids de la voiture, comme les systèmes de direction, de transmission ou de freinage électriques, qui augmentent aussi la sobriété de la voiture et ouvrent la voie à davantage d'électricité. Les fonctions start/stop, la récupération d'énergie et les autres formes d'assistance électronique devraient équiper de plus en plus de voitures dans les prochaines années, contribuant à améliorer la sobriété de l'ensemble du parc automobile et préparant les acheteurs aux innovations plus drastiques des voitures hybrides et électriques.
Semi-hybrides. Pour améliorer encore la sobriété d'une voiture, il faut ensuite augmenter la taille de la batterie. Les fonctions électroniques légères comme l'éclairage ou les essuie-glaces sont directement reliées à la batterie principale, mais les fonctions plus gourmandes en électricité comme les pompes doivent bénéficier de l'assistance d'un alternateur ou être reliées par courroie au moteur. Un certain nombre de constructeurs travaille actuellement à intégrer un système bi-tension associant une batterie 12 V compatible avec les systèmes existants et une batterie 48 V permettant d'alimenter le starter/alternateur, le système de suralimentation/turbocompresseur, la pompe à carburant, la pompe à eau, le système de refroidissement et d'autres systèmes gourmands en énergie.

Technologie employée		Réduction de la consommation de carburant
Start/stop	12 V	2-5 %
Micro hybride	12 V	3-10 %
Semi-hybride	48 V	8-15 %
Semi-hybride	HV (~100 V)	10-16 %
Entièrement hybride	200 V-450 V, 48 V pour certaines	20-50 %
Hybride rechargeable	100 V-800 V	40-80 %
Entièrement électrique	100 V-800 V	100 %

Tableau 1. Les différentes combinaisons entre moteur électrique et moteur thermique

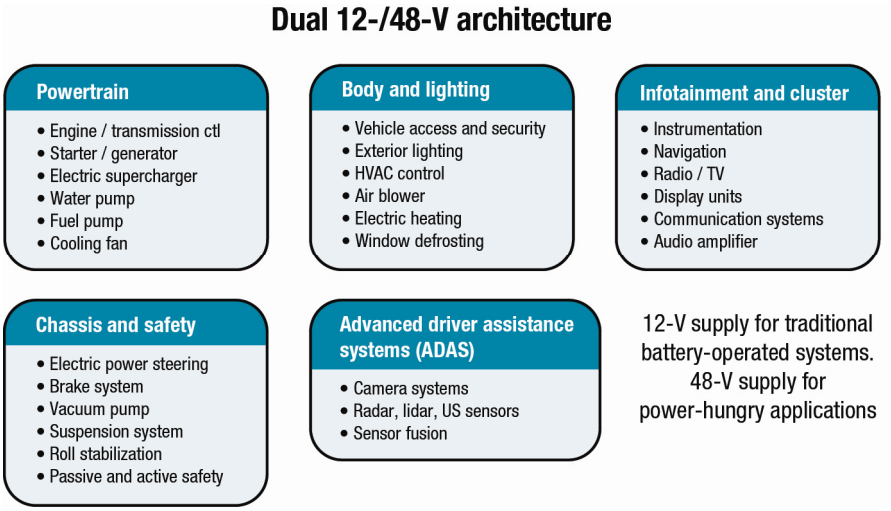


Figure 1. Architecture bi-tension 12-/48 V

La **figure 1** répertorie les systèmes alimentés directement par une architecture électrique bi-tension. Ces derniers peuvent être ensuite découplés du moteur thermique pour réduire sa charge, ce qui permet alors de downsizer le moteur.

Mais si les batteries 48 V constituent une nouvelle norme permettant de produire quelque 10 kilowatts (kW) de puissance afin d'alimenter les systèmes mentionnés dans la **figure 1**, il faut une tension plus élevée pour atteindre les 20 kW requis par les systèmes de suralimentation et turbocompresseurs électroniques. Quoi qu'il en soit, les voitures équipées de ces systèmes, baptisées semi-hybrides, affichent une consommation encore plus réduite et une maniabilité accrue, tout en n'étant dotées d'aucun système d'entraînement électrique indépendant. Les semi-hybrides devraient enregistrer la croissance la plus rapide parmi les différents types de voitures répertoriés dans le tableau 1 et représenter plus de la moitié des 22 millions d'unités vendus en 2025.

Full-hybrid et hybrides rechargeables. Sur une voiture entièrement hybride, où la force motrice électrique est assurée avec une charge allant jusqu'à 80 kW, il faut une batterie atteignant plusieurs centaines de volts (qui peut être accompagnée d'une batterie auxiliaire de 48 V assurant la compatibilité avec les systèmes conçus pour cette plage de tension). La consommation de carburant dépend alors de la durée de la conduite en mode électrique et de celle en mode thermique. Tant qu'il n'y aura pas d'innovation majeure dans le domaine des batteries ni de solution pour remplacer rapidement ces dernières, la consommation de carburant ne pourra être encore réduite qu'en rechargeant les batteries à partir d'une source externe, c'est-à-dire en branchant la voiture sur le courant ou en la plaçant sur un tapis à induction. Les voitures hybrides rechargeables, qui constituent le second type de voitures à la croissance la plus rapide du tableau 1, sont d'autant plus sobres que le conducteur les recharge régulièrement en les branchant sur le courant.

Voitures entièrement électriques. Enfin, les voitures entièrement électriques affichent une consommation de carburant égale à zéro, mais cela se fait au détriment de l'autonomie pour les trajets et de la rapidité de remplissage du réservoir pour les moteurs thermiques. La faible autonomie et le temps de recharge sont les principaux défauts qui nuisent à l'acceptabilité des voitures électriques. Même si la plupart des gens conduisent leur voiture principalement pour de courts trajets et peuvent amplement recharger leur véhicule pendant la nuit, ils entendent conserver la possibilité de traverser le pays sur une distance comparable à celle permise par un moteur thermique et pouvoir faire le plein en aussi peu de temps qu'ils le font à la station-service. Le succès sur le long terme des voitures sans émissions dépend donc des avancées technologiques en matière de capacité des batteries et de rapidité des cycles de charge, cette

dernière pouvant être améliorée à l'aide de systèmes à induction placés sous la voiture en lieu et place ou en complément d'un système de recharge par câble.

Voitures sans conducteur et système d'aide à la conduite. Un autre facteur permet de réduire la consommation de carburant : les systèmes de conduite automatique. À strictement parler, la conduite automatique ne dépend pas de la présence d'une motorisation hybride ou électrique et peut équiper n'importe quelle voiture. Mais les véhicules capables de conduire sans conducteur doivent être dotés de nombreux capteurs et actionneurs similaires aux systèmes requis pour les moteurs électriques. Il est également possible de concevoir des voitures avec des systèmes automatiques permettant d'atteindre une sobriété inégalée par la conduite humaine, notamment en trafic urbain où il est difficile de maintenir une vitesse aussi constante que possible. Ainsi, il paraît probable que le développement des voitures hybrides et électriques se fera en parallèle avec l'avènement de systèmes d'aide à la conduite et de voitures sans conducteur, et ce pour des raisons de sécurité en plus des objectifs de sobriété et de réduction des émissions.

Les défis techniques du développement des voitures hybrides et électriques

Pour les constructeurs automobiles et les fabricants d'électronique, la principale difficulté de l'électrification des voitures réside dans la sécurisation du recours à des tensions élevées. Ces tensions imposent en effet des normes drastiques en termes de matériel, de processus, de conception, de protection et de qualification, faisant appel à l'ensemble des atouts des circuits intégrés. Répondre à ces défis est essentiel non seulement pour garantir la fiabilité de fonctionnement, mais également pour assurer la sécurité de fonctionnement du starter/de l'alternateur, de la direction assistée, du contrôle de traction, de la gestion de la batterie, de la conversion bidirectionnelle DC/DC et de bien d'autres dispositifs. Tous ces systèmes doivent être protégés contre les surtensions, les surintensités, les chocs électriques, les retours de signal vers les autres systèmes, le bruit électromagnétique issu de sources extérieures et un certain nombre d'autres influences nuisibles. Surtout, il ne doit pas y avoir le moindre risque que qui que ce soit puisse être exposé à de telles hautes tensions ou intensités.

Outre les puces elles-mêmes déjà mentionnées, cette sécurité dépend principalement de l'isolation des circuits qui peut être intégrée à un die, placée entre des dies au sein d'un même boîtier, entre des puces fonctionnant ensemble, ou combiner toutes ces solutions. Afin de garantir une sécurité optimale, les normes automobiles imposent une double isolation par rapport à ce qui suffirait au simple fonctionnement des systèmes. C'est le principe de l'isolation renforcée, que les puces automobiles sont conçues pour respecter.

Le recours à des tensions élevées sur les véhicules hybrides permet de réduire la cylindrée des moteurs thermiques, réduisant ainsi la consommation de carburant mais aussi la puissance fournie. Pour compenser ce downsizing, le starter électrique doit fournir un surcroît de couple au moteur thermique et le turbocompresseur ou système de suralimentation conventionnel doit être remplacé ou complété par un système électrique capable d'apporter ce complément de couple. Afin de protéger temporairement ces fonctionnalités et d'autres de toute surtension, on a recours à des transistors à effet de champ (FET) de puissance conçus pour une tension allant jusqu'à 100 V. Pour assurer la force motrice de la voiture et la recharger à partir d'une source extérieure, comme une prise de courant ou un dispositif à induction, il faut un niveau de caractérisation encore plus élevé, allant jusqu'à 1 000 V (1 kV), qui puisse supporter des cycles de charge rapides. Sur certaines applications, il faut également prévoir des commutateurs capables de gérer des fréquences extrêmement élevées.

Fabriquer des FET capables de gérer ces tensions et ces fréquences élevées, voilà l'autre défi de l'électronique automobile. Les FET de puissance en silicone sont conçus pour des tensions suffisamment élevées pour gérer les charges des batteries traditionnelles 12 V et la plupart des charges des batteries 48 V. Mais il faut trouver un autre matériau pour les caractérisations approchant et dépassant les 100 V. Les innovations récemment effectuées dans le domaine du

nitrure de gallium (GaN) font de ce matériau une solution idéale pour les FET de puissance haute tension. Capables en théorie de commuter 1 kV et plus à des fréquences de l'ordre du mégahertz, le GaN est le matériau ad hoc non seulement pour de simples commutations on-off haute puissance, mais aussi pour commuter des alimentations électriques à ultra hautes fréquences.
La gestion des batteries des voitures hybrides et électriques est aussi un domaine où l'innovation en matière de technologies haute tension est la clé. Les systèmes bi-tension associant des batteries 12 V et 48 V requièrent une conversion bidirectionnelle DC/DC, comme l'indique la **figure 2**, afin à la fois de protéger les circuits et de permettre leur bon fonctionnement. Pour des tensions encore plus élevées, requises pour la force motrice ou la recharge externe des batteries, il faut un grand nombre de cellules connectées en série. La gestion des batteries doit s'accompagner d'une intelligence de commande capable de superviser l'état de charge, la charge et la recharge grâce à des capteurs de température, de tension et d'intensité placés dans chaque cellule.
Pour une commande optimale de chacun des systèmes électroniques, il faut assurer la communication entre eux ainsi qu'avec les capteurs du véhicules qui détectent les conditions de conduite externes et assurent la gestion automatique du fonctionnement de tout ou partie de la voiture. Les constructeurs automobiles s'appuient pour cela sur le bus CAN et sur d'autres bus réseaux normalisés, mais les perspectives d'innovations dans ce domaine sont très nombreuses. Les constructeurs attendent notamment des fabricants d'électronique qu'ils soient capables de s'adapter aux différents besoins de communication des différents modèles de voitures.

Répondre aux défis de l'électronique automobile
Les spécifications techniques relatives à la sécurité et à l'intégrité opérationnelle des systèmes utilisant des tensions élevées exigent une recherche d'innovations technologiques de la part des fabricants de puces électroniques. Conscient des exigences spécifiques de ses clients de l'industrie automobile, TI consacre une large part de ses activités d'expertise technologique au développement de solutions dédiées. La longue tradition de l'entreprise en tant que fournisseur de l'industrie automobile lui confère un solide savoir-faire en matière d'adaptation aux nouvelles demandes dans le domaine de l'électronique automobile, y compris pour les voitures hybrides et électriques. La **figure 3** présente les nombreux éléments des systèmes électriques d'une voiture faisant appel à des composants TI.
Les questions de sécurité ont fait émerger des techniques d'isolation de pointe permettant notamment d'intégrer des fonctions haute et basse tension et haute et basse fréquence dans un même boîtier. Les dies et les boîtiers destinés à un usage automobile ou industriel sont désormais généralement dotés d'une isolation renforcée, tout comme les qualifications pour des températures des tensions, des fréquences et des vibrations élevées. Parmi les boîtiers disponibles, la gamme SafeTI est particulièrement recommandée pour satisfaire aux exigences de sécurité fonctionnelle classiques pour les applications automobiles.

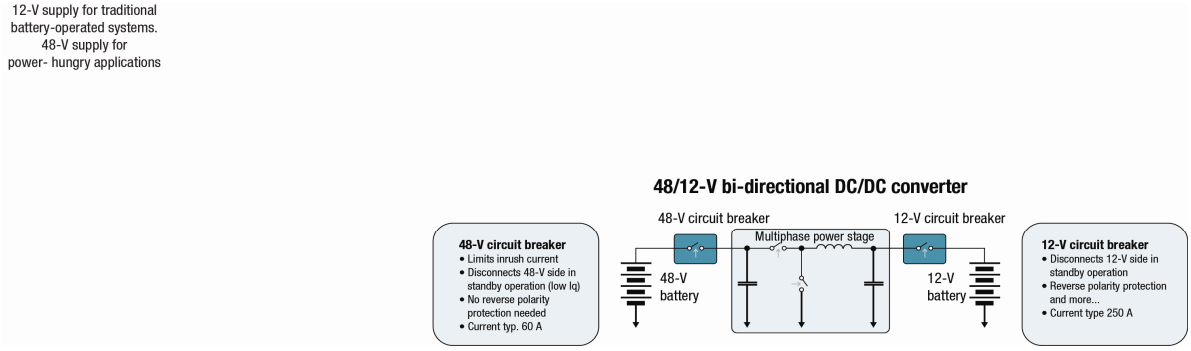


Figure 2. Convertisseur bidirectionnel DC/DC 48/12 V.

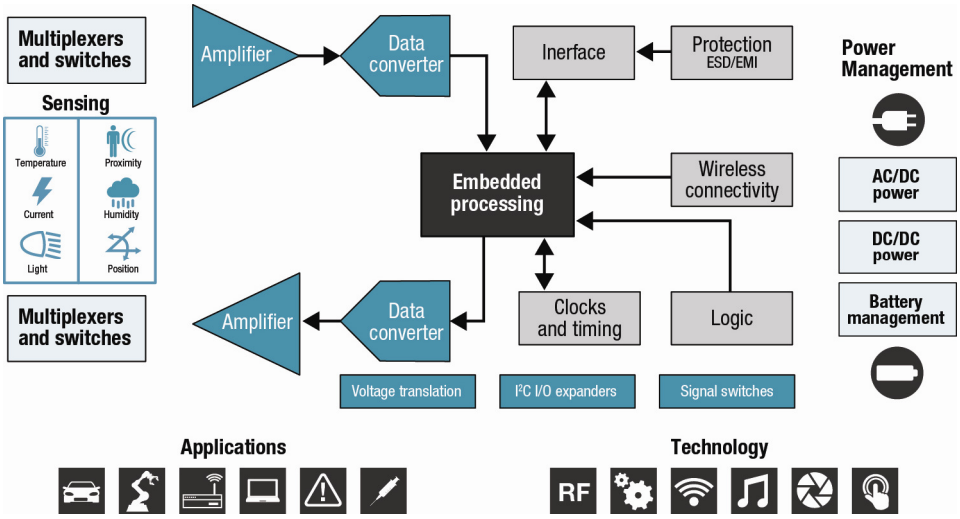


Figure 3. Les technologies analogiques et intégrées de TI au cœur des systèmes automobiles.

Pour une commande sécurisée des systèmes électriques, la gamme de microcontrôleurs TMS570 Hercules (MCU) est dotée de CPU double cœur lockstep, de fonctions de correction d'erreurs et de diagnostic intégré. Sont également disponibles les MCU C2000, idéales pour une gestion du moteur ultrarapide en temps réel. Les autres puces destinées à une application directe sur les lignes électriques et permettant d'améliorer la sécurité comprennent des commutateurs de puissance, des systèmes de gestion et de protection des batteries, des convertisseurs DC/DC, des convertisseurs analogiques-numériques sigma-delta et bien d'autres encore.
Les innovations en matière de technologie des procédés continuent par ailleurs à améliorer les performances de la silicone sur des plages de tension plus élevées, notamment sur celles utilisées dans les nouveaux équipements électroniques automobiles. Pour les applications de puissance à tension et fréquence très élevées, TI propose des FET en GaN. Les premiers produits GaN dédiés à la commutation des alimentations électriques sont caractérisés pour des courants allant jusqu'à 100 V, et de nouvelles innovations sont prévues.
En équipant leurs produits de nouveaux systèmes haute tension, les constructeurs automobiles ouvrent la voie à des territoires inexplorés, et ils ont besoin d'une grande flexibilité pour laquelle un vaste portefeuille de solutions de circuits intégrés reste la solution optimale, avec des solutions de recharge et de gestion des batteries, de conversion et de régulation de tension, de drivers de puissance et toute autre solution participant au système électrique. L'expertise de TI en matière de communication lui permet également d'offrir les solutions réseau flexibles requises par les constructeurs, compatibles avec les principales normes de communication utilisées en électronique automobile aujourd'hui. Notre renommée en matière d'intégration joue également un rôle dans la réduction de l'encombrement, du poids et des connexions des systèmes électriques, ce qui contribue à améliorer l'efficacité de l'ensemble.

Vers des moyens de transport de plus en plus électriques
La révolution des transports est en marche, et elle s'accompagne d'innovations en électronique automobile qui permettent de rendre les voitures plus sobres, plus sûres et plus confortables. Les moteurs thermiques à assistance électronique, les différents degrés d'hybridation et les voitures entièrement électriques font chuter les émissions, ce qui réduit drastiquement les émissions polluantes à l'échelle locale et les gaz à effet de serre à l'échelle mondiale. L'avènement des voitures sans conducteur et des voitures entièrement électriques devrait modifier profondément le mode de fonctionnement des automobiles, notamment en ville, faisant naître de nouveaux modèles d'activité qui permettront de se déplacer sans émission ou presque et de proposer des transports sur mesure à des millions de personnes. TI

joue d'ores et déjà un rôle majeur dans la fourniture de composants électroniques destinés à l'automobile, et s'engage à continuer à apporter son aide pour rendre les voitures de demain plus sûres, plus pratiques et plus vertes.

Informations complémentaires :
Pour en savoir plus sur les produits TI destinés aux moteurs et aux entraînements hybrides ou électriques,

- Découvrez nos systèmes et produits phares dédiés aux moteurs électriques, hybrides ou conventionnels
- Lisez notre livre blanc à ce sujet : *Des systèmes de commande d'entraînement compacts et intelligents pour booster le marché des voitures électriques et hybrides*
- Téléchargez des informations sur nos systèmes d'isolation des circuits, nos systèmes haute tension, nos produits GaN et nos dispositifs de protection contre les surtensions

N.-B. : Les produits et services de Texas Instruments Incorporated et de ses filiales décrits dans le présent document sont soumis aux conditions générales de vente de TI. Il est conseillé aux clients de se procurer un maximum d'informations détaillées et actualisées sur les produits et services de TI avant de procéder à tout achat. TI réfute toute responsabilité liée à l'assistance pour les applications, aux applications ou au design produit des clients, à la performance des logiciels ou à la contrefaçon de brevets. La mention d'informations relatives à des produits ou services de tiers n'engage ni l'approbation, ni la garantie, ni la responsabilité de TI.
La bannière logotypée TI est une marque déposée de Texas Instruments. Toutes les autres marques déposées sont la propriété des titulaires des droits afférents.