

VÉHICULES ÉLECTRIQUES : ÉCO-INTELLIGENCE, STOCKAGE ET RENOUVELABLES

Adapter la production électrique à la demande, c'est le casse-tête des gestionnaires de réseaux. Ce défi, auquel s'ajoute l'intégration d'une part croissante d'énergies renouvelables variables, est traditionnellement relevé en faisant appel à différentes formes de stockage de l'énergie : stockage chimique (hydrocarburant), stockage gravitaire (barrages hydrauliques), ou stockage virtuel en interconnectant les réseaux électriques. Mais un nouvel acteur émerge dans la famille des stockeurs : l'ensemble des batteries des véhicules électriques.

■ Contrairement aux appareils électriques domestiques ordinaires, le véhicule électrique possède un dispositif intégré d'emmagasinement de l'énergie : la batterie. Une voiture est stationnée en moyenne 23 heures sur 24, un automobiliste français moyen parcourt environ 30 à 35 km par jour, et la batterie d'un véhicule électrique lui offre une autonomie de 160 km en cycle normalisé. Il en résulte que la plus grande partie de l'énergie stockée dans la batterie est potentiellement disponible pour d'autres usages. D'où l'idée d'utiliser ces batteries pour d'une part diminuer le recours aux centrales thermiques d'appoint pendant les heures de pointe et donc diminuer la pollution de l'air, et d'autre part favoriser la pénétration en masse des renouvelables intermittentes, comme l'éolien et le solaire, objectif que se sont fixé de nombreux pays.

RENDRE LES RÉSEAUX

ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS

Grâce aux nouvelles technologies de l'information et de la communication, il est possible d'optimiser la charge des véhicules électriques, en faisant en

sorte qu'elle ait lieu durant les heures favorables, par exemple quand la production éolienne ou solaire est élevée. C'est ce que l'on appelle le G2V (Grid-to-Vehicle). Mais il est également possible, dans le sens inverse, d'injecter de l'électricité depuis la batterie du véhicule vers le réseau électrique, c'est le V2G (Vehicle-to-Grid). Les deux réunis

« 3 millions de véhicules électriques en France auraient permis de diminuer le pic de novembre 2010 de 7 GW. »

constituent le G2V/V2G, qui est l'une des déclinaisons particulièrement prometteuses des smart grids (réseaux intelligents).

Une seule batterie apporte une capacité de stockage de 24 kWh. Mais en France, selon l'objectif fixé par le gouvernement, ce sont 2 millions de véhicules électriques qui devraient enrichir le parc automobile à horizon 2020.

On change alors d'échelle : un million de batteries de 24 kWh (le parc automobile français est constitué d'environ 30 millions de véhicules), c'est une réserve de 24 GWh, c'est-à-dire une puissance électrique d'1 GW disponible pendant 24 heures, ou encore, à supposer une généralisation des dispositifs de charge rapide, de 48 GW pendant 30 minutes, ce qui est potentiellement très intéressant pour les

gestionnaires de réseaux. Comparativement, la puissance électrique appelée en France varie entre 50 et 70 GW, avec parfois des pointes à 90 GW. Un record historique proche de 94 GW a été atteint en novembre 2010, et, selon RTE, des pointes à 108 GW ne sont pas à exclure à horizon 2020. Ces pointes conduisent à un alourdissement de la facture électrique, car leur gestion requiert la construction de centrales électriques qui ne fonctionnent que quelques heures par jour. Selon Jean-Charles Papazian, expert du cabinet CFPELEC, « 3 millions de véhicules électriques en France auraient permis de diminuer le pic de novembre 2010 de 7 GW. Loin de l'idée très répandue consistant à penser que le véhicule électrique est polluant car aggravant les pics de consommation, il permettra au contraire de les effacer et de lisser la production d'énergie électrique. De plus, il facilitera dans des conditions optimales l'intégration des renouvelables dans le réseau ». Selon un rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques publié par les députés Christian Bataille et Claude Birraux⁽¹⁾, le parc automobile français, grâce au G2V/V2G, pourrait représenter « une puissance équivalente à 100 fois celle du parc de production d'électricité d'EDF⁽²⁾ ». Pour Will Kempton, directeur du centre du Carbon Free Power Integration à l'université d'État du Delaware (à l'Est des USA) qui teste actuellement un dispositif V2G avec une flotte de 100 véhicules, le réseau électrique américain actuel est capable de supporter des millions de véhicules électriques. Il indique que

(1) Rapport sur l'évaluation de la stratégie nationale de recherche en matière d'énergie, par MM. Christian Bataille et Claude Birraux, députés, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 3 mars 2009.

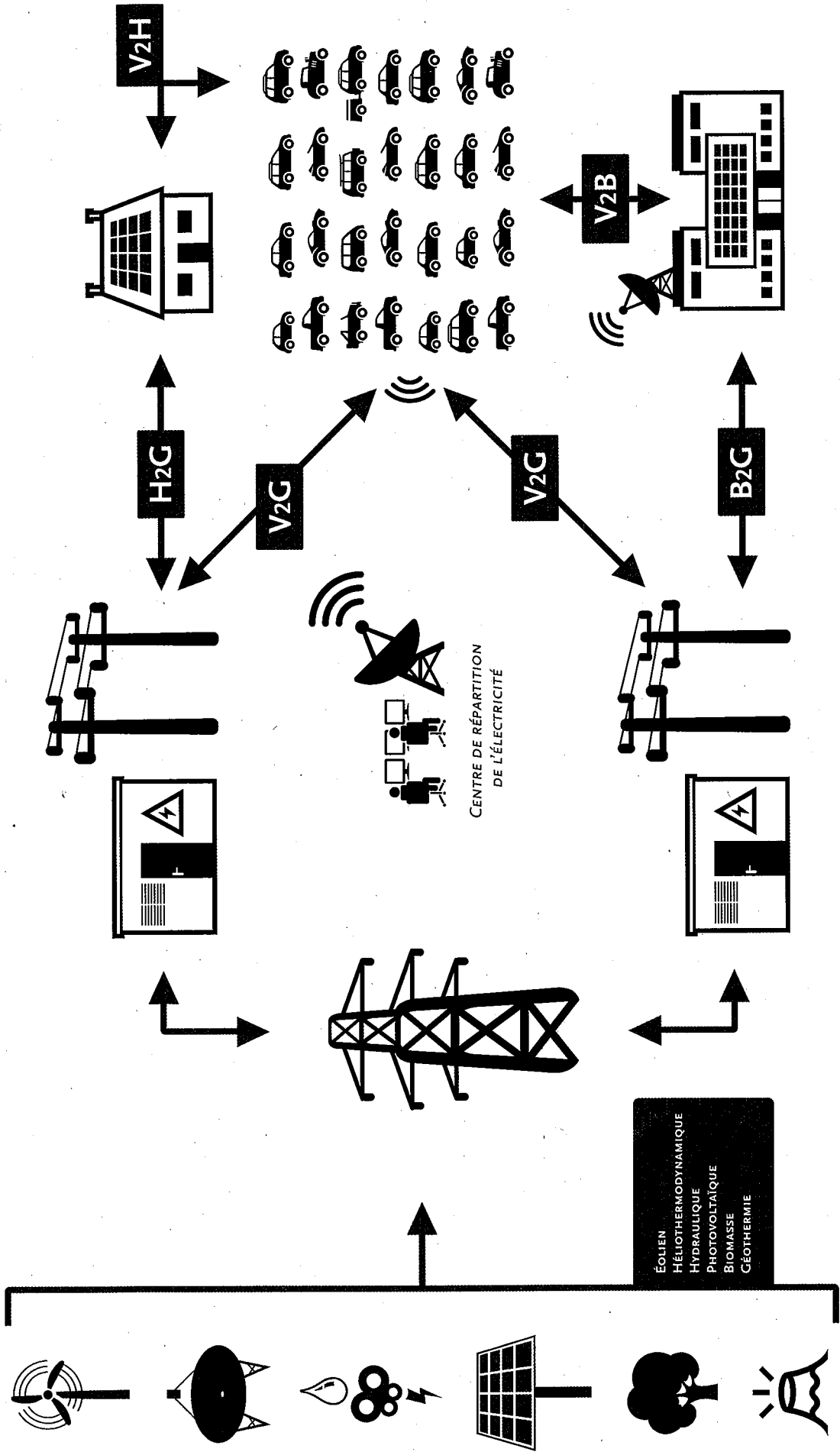
(2) Ce calcul est possible sur la base d'une charge/décharge inférieure à 10 minutes.

LE RÉSEAU INTELLIGENT ET LES MILLE ET UNE BATTERIES

1 - PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ RENOUEVELABLE

2 - DISTRIBUTION

3 - DEMANDE/STOCKAGE



Légende : V2G : Véhicule-to-Grid (du véhicule à la maison), V2B : Véhicule-to-Building (du véhicule à l'immeuble), H2G : Home-to-Grid (de la maison au réseau), V2H : Véhicule-to-Home (du véhicule à la maison), B2G : Building-to-Grid (de l'immeuble au réseau).
A Renewable Energy Community: Key Elements, Carlisle et al., National Renewable Energy Laboratory, 2008.

la puissance électrique américaine est de 417 GW, et que si l'intégralité des véhicules américains étaient convertis à l'électrique et équipés d'une batterie de 15 kWh en moyenne, alors le parc automobile pourrait fournir une puissance de 2 865 GW.

UN CHANGEMENT DE PARADIGME ÉNERGÉTIQUE

Alors que jusqu'à présent les unités de production et de stockage de l'électricité étaient généralement centralisées, les véhicules électriques induisent une dissémination des unités de stockage sur tout un territoire : un quartier, une ville entière, voire un pays.

Ceci va de pair avec une décentralisation croissante des unités de production de l'énergie : de plus en plus de propriétaires et d'entreprises installent des panneaux photovoltaïques ou des mini-éoliennes. Il y a en réalité deux approches pour accompagner cette évolution : la première consiste à rendre plus intelligents les réseaux existants qui ont été historiquement structurés de manière centralisée, mais l'opération est aussi délicate que de vouloir changer le système électrique d'un avion qui est déjà en vol, ce qui ne va pas sans générer quelques inquiétudes de la part de l'équipage, comme on peut le voir par exemple en France face à l'émergence des projets photovoltaïques décentralisés. Le succès de ce genre de transformation suppose une bonne entente

entre tous les acteurs et une responsabilisation de chacun d'entre eux.

La seconde approche consiste à créer des réseaux autonomes à l'échelle d'un bâtiment, d'un quartier ou d'une ville entière. Ces îlots indépendants (micro-grids) sont conçus dès le départ pour intégrer différents types d'énergies renouvelables, ce qui implique de disposer d'unités de stockage. Pour, K. R. Sridhar, PDG de Bloom Energy, « *l'électricité décentralisée, c'est la vraie démocratie* ». De nombreux projets en îlots émergent actuellement dans le monde entier et les retours d'expérience seront disponibles dans les deux ou trois ans

Les véhicules électriques induisent une dissémination des unités de stockage sur tout un territoire.

à venir. À l'échelle du couple maison intelligente/véhicule électrique, le groupe Sharp a développé au Japon l'"Intelligent Power Conditionner" dans le cadre du projet "DC Eco House". Et c'est un quartier entier de Yokohama que le gouvernement japonais a mis à disposition de Toshiba, Fujitsu, Hitachi, Mitsubishi et

Nissan pour tester leurs technologies, ceci dans le cadre du "Yokohama Smart City Project" en partenariat avec des énergéticiens japonais : 4 000 panneaux photovoltaïques et 2 000 véhicules électriques ont été déployés. En octobre 2010, un consortium incluant notamment NEC, Nissan et d'autres entreprises nippones a annoncé le lancement d'un programme commun, le "Smart Network Project", dont la finalité est d'harmoniser les systèmes de communication en ce qui concerne à

la fois les véhicules électriques (G2V) et les maisons intelligentes (smart homes), et de mettre en place des standards. En Californie, Google teste également un système G2V/V2G avec une flotte de Toyota Prius rechargeable nouvelle génération.

De la même manière que l'on peut interconnecter en clusters des ordinateurs distants (grappe de serveurs) pour partager les ressources en mémoire ou les puissances de calcul, il

COMBIEN D'ÉLECTRICITÉ POUR ALIMENTER LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES ?

Un véhicule électrique standard (de type Volkswagen Golf) consomme, selon les chercheurs du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa), 14,1 kWh aux 100 km en cycle normalisé⁽¹⁾. Auxquels on peut ajouter 2,9 kWh pour l'alimentation du chauffage, de la climatisation et des accessoires électriques, soit un total de 17 kWh aux 100 km. Un automobiliste européen moyen parcourt environ 35 km par jour et le parc automobile français compte environ 30 millions de véhicules. EDF estime qu'il faudrait environ 65 TWh par an pour alimenter le parc automobile français intégralement converti à l'électrique. L'Institut Fraunhofer a calculé qu'il faudrait fournir 80 TWh pour en faire de même en Allemagne. Angela Merkel a mis en place le « groupe de travail sur l'intégration au réseau et les infrastructures de recharge de la plate-forme nationale

sur la mobilité électrique ». Ce groupe a rendu ses conclusions il y a quelques mois et affirme qu'un million de voitures électriques consommeraient tout au plus 2 TWh d'électricité par an. Or, l'Allemagne devrait produire nettement plus que 100 TWh d'énergies renouvelables d'ici à 2020, ce qui, selon le groupe de travail, a le potentiel pour faire rouler 50 millions de voitures électriques. Selon l'EPRI (Electric Power Research Institute), « *des études récentes indiquent que si les voitures électriques constituaient la moitié du parc automobile américain, une hausse de seulement 8 % de la génération électrique (4 % en puissance installée) serait suffisante* ».

(1) Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles, Notter et al., Environ. Sci. Technol. 2010, 44, 6550-6556.

sera possible d'agrandir les flots et d'interconnecter de manière symbiotique les différents flots entre eux : villes, régions, pays. D'après les analystes, cette évolution en grappe devrait se produire dans une seconde phase, à l'échelle de la décennie. Certaines villes lancent cependant dès à présent des projets de grande envergure. Dans deux ans, un tiers de la ville d'Amsterdam (200 000 maisons) fera partie d'un smart grid mis au point par IBM et Cisco. En Suède, ABB et Fortum ont formé une alliance pour mettre au point un smart grid à l'échelle de la ville de Stockholm. Ce projet R&D est soutenu par le gouvernement suédois et par le Clinton Climate Initiative Program For Sustainable Urban Growth. Aux USA, dans l'État du Colorado, la

Pour mettre en place une telle révolution énergétique, l'une des solutions serait de rendre plus intelligents les réseaux existants qui ont été historiquement structurés de manière centralisée.

ville de Boulder est devenue la première smart city du monde. Singapour, Jeju (Corée du Sud) ou encore Bombay suivent cette dynamique.

Ces initiatives locales peuvent s'étendre de manière virale. Greenpeace International a publié récemment un rapport intitulé "La guerre des réseaux" où est soulignée la différence, voire le conflit potentiel, entre l'approche à tendance monopolistique basée sur une production énergétique centralisée et l'approche décentralisée des smart grids favorable à l'émergence des projets énergies renouvelables locaux et citoyens. Pour K. R. Sridhar, ces conflits n'ont pas lieu d'être :

les énergéticiens (par exemple GE) pourront tout simplement acheter les micro-unités de production d'électricité et participer à la décentralisation en faisant du profit. On peut d'ailleurs envisager l'émergence de systèmes mixtes, combinant une base centralisée et une multitude de systèmes décentralisés plus ou moins autonomes. Pour de nombreux observateurs, nous assistons à une véritable révolution énergétique. Dans le film *Energy Autonomy, the 4th revolution* où la symbiose véhicules électriques/énergies renouvelables est mise en avant, le député allemand Hermann Scheer affirmait : « *L'approvisionnement en énergie devient un processus démocratique. Les gens deviennent de plus en plus autonomes, il y a davantage d'autonomie individuelle, d'autonomie locale, d'autonomie régionale, d'autonomie nationale. Ceci est uniquement possible avec les énergies renouvelables, et pour tous. Il s'agit de la plus grande restructuration de l'économie depuis le début de l'ère industrielle.* »

VERS UN INTERNET DE L'ÉNERGIE ? Toyota, premier groupe automobile à l'échelle mondiale, a mis en place dans la ville de Yokohama le projet "Toyota Smart Grid Village". Le "Toyota Smart

Selon Toyota, pour celui qui passe d'une voiture thermique à une voiture électrique, une gestion optimale de l'énergie permet d'économiser jusqu'à 75 % d'énergie.

Center" (TSC) permet aux consommateurs de visualiser sur leur téléviseur, leur ordinateur ou leur smartphone la quantité d'électricité consommée par tel ou tel appareil de la maison ou par le véhicule électrique. Selon Toyota, pour un client qui passe d'une voiture thermique à une voiture électrique, une gestion optimale de l'énergie via le TSC permet d'économiser jusqu'à 75 % d'énergie. Pour Shigeki Tomoyama, responsable du

LE MARCHÉ DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES V2G

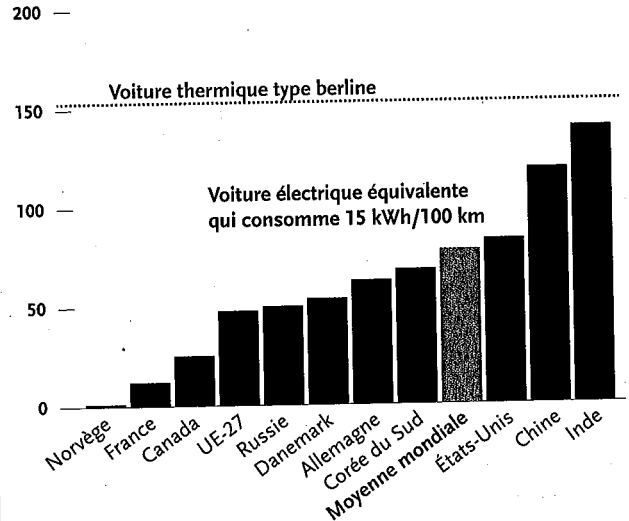
Selon une étude récente de l'Institut PricewaterhouseCoopers Automotive, le marché des véhicules électriques V2G pourrait se hisser à une valeur de 2,5 milliards d'euros en 2015, et de 20,5 milliards d'euros en 2020, soit huit fois plus en cinq ans ou encore un taux de croissance annuel de 46,8 % sur la période ; en Chine, ce taux

de croissance pourrait atteindre 82,6 %. Toujours selon cet Institut, le V2G sera dans un premier temps un marché de niche, dominé d'abord par les États-Unis, le Japon et la Chine. Ces trois pays pourraient représenter environ 70 % du marché entre 2015 et 2020.

MIX ÉLECTRIQUES : QUEL BILAN CO2 ?

En se basant sur le mix électrique moyen tant aux USA qu'en Europe, les données indiquent que la voiture électrique à batterie a un bilan CO₂ bien meilleur que les voitures thermiques, qu'elles soient alimentées avec du diesel ou de l'essence. Selon le rapport "Plugged-in, the end of the oil age" du WWF International, « ce résultat devrait éteindre la théorie du "long pot d'échappement" dont l'argument est que l'électrification des automobiles consiste en un transfert d'émissions du véhicule vers les centrales électriques. Les sceptiques du véhicule électrique qui souscrivent à ce point de vue déclareront souvent que les "véhicules à zéro émission" sont des "véhicules qui émettent ailleurs". C'est vrai, bien sûr, sauf qu'ils négligent de mentionner qu'une seule source d'émission est bien plus facile à contrôler ». La conclusion est claire : « Malgré des variations importantes dans les mix électriques des différents pays dans le monde, les électrons battent les carburants liquides en termes de CO₂ durant le cycle de vie. » Plus important, cet avantage va incontestablement croître parallèlement au verdissement des mix électriques des pays en question, ceci alors que l'intensité carbonique des carburants fossiles va grandir, surtout si nous nous dirigeons vers une exploitation de ressources fossiles non conventionnelles telles que le pétrole de schiste ou le charbon liquéfié.

Émissions de CO₂ par km parcouru en gCO₂/km



Sources : Michelin 2010, Renault 2009, AIE 2006, Stanford University 2009.

projet, « relier la voiture électrique et la maison permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre ». Toyota fait le pari qu'il sera bien vu socialement au Japon de réduire sa consommation d'énergie et qu'une dynamique d'émulation se mettra en place. De la même manière que posséder une voiture peut être considéré comme un signe extérieur de richesse, utiliser de façon intelligente l'énergie grâce à son véhicule électrique pourra être perçu comme un signe extérieur de responsabilité écocitoyenne et d'éco-intelligence. Aux États-Unis, plusieurs entreprises, comme Opower par exemple, émer-

gent avec pour objectif de créer des synergies entre gestion intelligente de l'électricité et réseaux sociaux. Opower regroupe les consommateurs par communautés d'utilisateurs qui ont des profils similaires et leur fournit des astuces pour optimiser leur consommation d'énergie et réaliser des économies. Les membres d'une communauté peuvent partager entre eux leurs profils de consommation énergétique, de la même manière que des applications circulent sur Facebook, un réseau social qui compte aujourd'hui des millions d'utilisateurs réguliers. De façon comparable au

« Relier la voiture électrique et la maison permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre. »

En Europe et aux USA, la voiture électrique à batterie a un bilan CO₂ bien meilleur que les voitures thermiques, qu'elles soient alimentées avec du diesel ou de l'essence.

smartphone qui sert de plate-forme pour des applications auxquelles personne n'aurait pensé auparavant, le véhicule électrique connecté à la maison intelligente va sans doute devenir une plate-forme pour des nombreuses applications innovantes dans le domaine des énergies vertes et de l'efficacité énergétique. À l'occasion de l'arrivée sur le marché des premiers milliers de Nissan électriques Leaf, le constructeur a lancé un concours entre automobilistes afin qu'ils comparent leurs profils de conduite (enregistrés automatiquement par le système informatique du véhicule) et adoptent une conduite éco-intelligente économisant l'énergie. ■

