

# Projet ZEN E-DRIVE



REALISATION D'UNE PLATEFORME DE DEMONSTRATION  
POUR LE DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME INTEGRE  
VEHICULE/INFRASTRUCTURES AVEC UNE GESTION  
OPTIMALE DE L'ENERGIE 2011-2015

Projet de recherche coordonné par : *Courb*

Partenaires : *CEA – LITEN, Cooltech Applications et Giraudon Carrosserie Industrielle*

Appel à projet de recherche : Fonds démonstrateur de recherche 2009

N° de contrat : 10.66.C0105, 10.66.C0106, 10.66.C0107 et 10.66.C0109



---

**Synthèse non confidentielle**

**Novembre 2015**

**Durée : 62 mois**

## **Contexte**

Depuis 2010, la suprématie du pétrole et du nucléaire s'estompe pour laisser place à de nouvelles énergies renouvelables et moins polluantes telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'hydrogène liquide pour les piles à combustible, et les énergies agricoles (huiles de colza, bio-éthanol, ...). Cela a favorisé l'avènement de nouvelles technologies de locomotion et donc de nouveaux moyens de transports. Aujourd'hui, les points d'accès au réseau électrique sont très nombreux et bien répartis en ce qui concerne les bâtiments professionnels et personnels mais beaucoup de travail reste à faire dans le domaine des bornes de recharge. Il faut noter aussi que notre consommation électrique pour nos appareils ménagers a fortement augmenté. Il faudra produire et acheminer beaucoup plus de courant vers ces bornes de recharges qu'aujourd'hui. Nous pensons que la solution des bornes à recharges à énergie solaire plus ou moins autonome est un bon compromis qui mérite d'être étudié plus profondément. Finalement, les véhicules électriques utilisant des batteries peuvent aussi être vus comme des petits transporteurs d'énergie qui pourra être reversée dans ce que les fournisseurs d'électricité appellent le Smart Grid c'est-à-dire des immeubles, des bornes de recharges ou d'autres appareils.

Depuis les années 2000 et plus récemment avec la prise de fonction du Président Hollande et la pression internationale face au réchauffement climatique et l'agrandissement du trou dans la couche d'ozone, le gouvernement n'a cessé de répondre aux problèmes de pollution et de vie sur notre planète Terre. Un des engagements forts du gouvernement est ainsi de diminuer le nombre de nucléaire et ainsi de déchets toxiques mettant plusieurs milliers d'années avant d'être éliminés, de mettre en place la taxe Carbone et de s'ouvrir aux énergies renouvelables avec le bonus écologique. Par ailleurs, la commission européenne modifie la réglementation afin de réduire la pollution industrielle et la pollution automobile. L'avantage du véhicule électrique est qu'il n'a aucune émission nocive (gaz, particules, liquides) et qu'il est soumis aux mêmes règles de conformités et de protection humaine que les autres véhicules concernant la sécurité des personnes dans l'environnement routier et les émissions de champs électromagnétiques en agglomération. De même, la climatisation est un des aspects très importants pour le confort des usagers mais surtout très énergivore et cela va à l'encontre de l'écologie et de l'autonomie. Des progrès sont aussi en cours dans le domaine de la thermique et de l'énergie dans le cadre de températures estivales.

Avec l'évolution de l'informatique et son usage de plus en plus grandissant en version nomade et dans la téléphonie mobile, les technologies de stockage de l'énergie embarquée se sont fortement améliorées. Cela a favorisé une réduction de taille et du poids de la chimie et l'augmentation de la quantité d'énergie. En particulier, les chimies Lithium-Ion et Lithium Fer Phosphate Manganèse se sont fortement développées et améliorées au niveau de leur densité. De nouvelles chimies encore plus performantes sont en train de voir le jour (Gel de silice, Lithium Air, Lithium Soufre, ...).

Les premiers véhicules électriques sont apparus au XIX<sup>ème</sup> siècle et plus précisément en 1830 avec Robert Anderson, un homme d'affaire écossais, qui réalise ainsi le premier prototype de voiture électrique. Ces premiers véhicules furent détrônés par les véhicules thermiques en 1908 du fait du poids des batteries, du volume, du temps et du nombre de cycles de recharge et d'une trop faible autonomie.

C'est dans les années 1990-2000 que les voitures électriques reviennent réellement sur le marché malgré les problèmes de poids et de chimie embarquée, la densité ou rapport Wh/kg nous ramène aux mêmes problèmes quand dans les années 1900 et le véhicule électrique séduit trop peu de clients.

En 2010 et plus encore en 2018, les nouvelles chimies nous permettent désormais d'envisager l'avenir du véhicule électrique beaucoup plus sereinement avec une plus grande autonomie.

## Objectifs

Dans le projet ZEN E-DRIVE, tout a été mis en œuvre pour prouver que les véhicules électriques d'aujourd'hui permettent un usage quotidien en mode urbain et péri-urbain plus agréable et aussi naturel qu'avec un véhicule thermique. Les partenaires ont souhaité démontrer dans ce projet qu'une bonne intégration véhicule-infrastructure était nécessaire pour développer cette activité en sachant pertinemment que les chimies des batteries seront au rendez-vous pour une meilleure autonomie et que la mentalité des usagers doit évoluer aussi dans le sens de l'écologie et des usages pertinents.

L'objectif de COURB a donc été de développer un véhicule léger (moins de 800 kg) 2 places avec une vitesse maximale de 115 km/h et 130 km d'autonomie avec un coffre de 540 litres plus dédié à l'usage des professionnels.

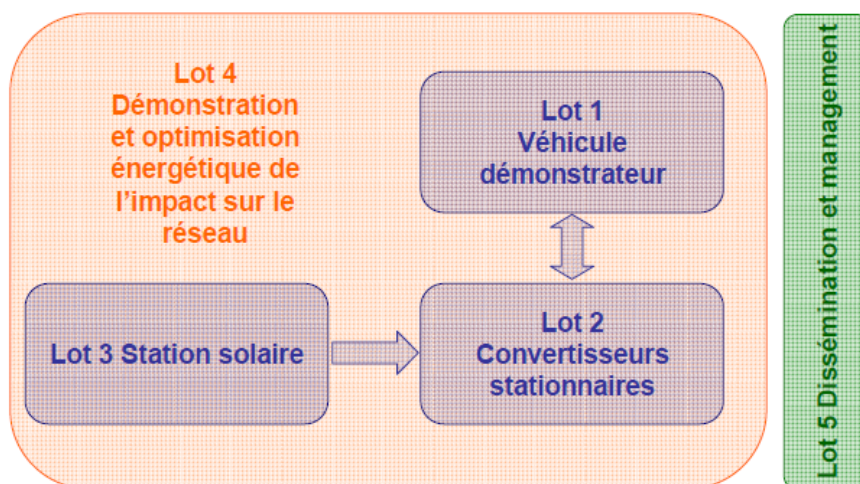
## Description de l'opération

Le projet comprend :

- Le développement d'un véhicule démonstrateur électrique, puis d'une flotte de 20 quadricycles lourds type L7E électriques qui a été remplacé par la suite par des véhicules C-ZEN homologués N1 (véhicule utilitaire légers toutes routes avec permis).
- Le développement d'un système de climatisation/chauffage basé sur l'utilisation de matériaux magnétocaloriques.
- Le développement de moyens de recharge de ces véhicules par l'utilisation d'énergies renouvelables. Pour cela, seront mis en place :
  - des bornes de recharge judicieusement réparties menant au renforcement de l'autonomie des véhicules,
  - des stations solaires ayant pour double fonction la conversion, de l'énergie solaire en électricité grâce à des panneaux photovoltaïques situés sur leurs toits et le stockage de cette électricité dans des systèmes stationnaires offrant des caractéristiques d'usage complémentaires et très en rupture.
- Le développement d'un moyen d'optimisation de l'énergie du système par :
  - le développement d'algorithmes de modélisation des flux énergétiques de la plateforme qui permettront d'optimiser la gestion de l'énergie et de diminuer l'impact sur le réseau d'un tel système,
  - l'électronique embarquée qui permettra la récupération de données, l'analyse du comportement des conducteurs, la création de profils d'utilisateurs, le croisement de ces profils et la détermination des profils les moins consommateurs d'énergie.
- La mise en œuvre d'un site internet permettant l'accès aux résultats du projet et un site permettant l'exploitation des données recueillies en temps réel.

Le projet a été découpé en 5 lots principaux :

- Lot 1 : Conception du véhicule démonstrateur
- Lot 2 : Conception des convertisseurs stationnaires
- Lot 3 : Station solaire
- Lot 4 : Utilisation énergétique et impact sur le réseau
- Lot 5 : Dissémination



## Résultats

### Lot 1.1 – Base du véhicule démonstrateur

Entre 2010 et 2012, toutes les études de la base du véhicule démonstrateur ont été réalisées, 2 châssis roulants ont été réalisés, ils sont fonctionnels. La conception et la réalisation de la carrosserie du véhicule sont finalisées. Les fonctionnalités dynamiques du châssis sont validées. La chaîne de traction a été définie spécifiée, vérifiée sur banc et véhicule, elle a également été caractérisée sur piste d'essai avec une carrosserie permettant de réaliser un essai représentatif. L'architecture électrique a été étudiée, approvisionnée et mise au point de manière fonctionnelle sur le châssis roulant. Les 1500 km parcourus par 3 véhicules ont permis de valider la mise au point de cette architecture. L'électronique de gestion véhicule a été définie et paramétrée avec les composants choisis pour la chaîne de traction, elle est fonctionnelle. Elle a également été paramétrée pour différents packs batteries, le diagnostic reste à finaliser.

En 2013, L'étude des outillages de pièces de fonderie et de profils d'extrusion a été finalisée, les outillages ont été lancés. Les études des outillages de carrosserie et pour la soudure ont été réalisées et ils ont été lancés en production.

En 2014, les crashes-tests ont été passés et plus de 50 véhicules homologués N1 sont sortis de l'usine de production, tous les ateliers et processus étaient en place avec l'ensemble des modes opératoires à jour. Tous les problèmes de pièces non conformes ont été résolus. Les véhicules pour le CEA ont pu être produits et la campagne de mesures a ainsi pu commencer (lot 4).

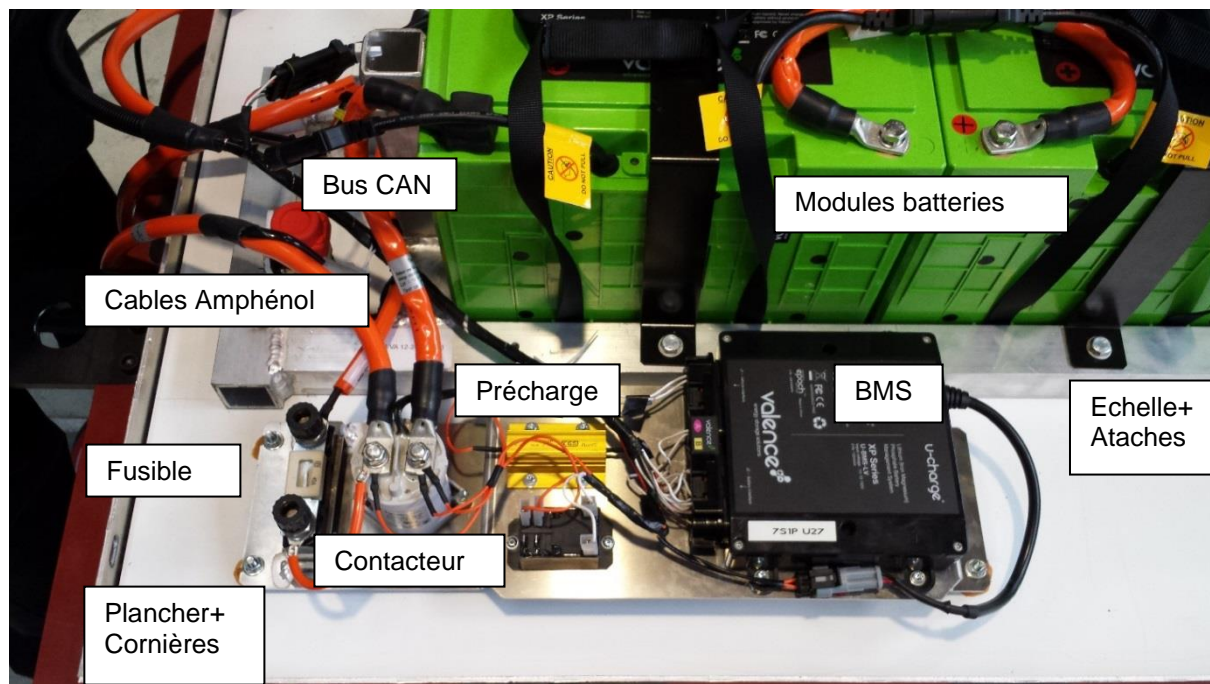


### Lot 1.2 – Réalisation et intégration du pack batterie sur véhicule

Les premiers essais sur véhicule montrent un fonctionnement correct qui a été confirmé pendant la phase l'expérimentation. La gestion des batteries (Battery management system ou BMS) contrôle parfaitement les tensions et les températures du pack et prévient tout



emballage thermique de la chimie LiFePoMn. De plus, la durée de vie des batteries est optimisée par un équilibrage régulier dès qu'un écart de tension est détecté.



### *Lot 1.3 – Réalisation et intégration de l'électronique*

Les premiers essais sur véhicule montrent un fonctionnement correct qui a été confirmé pendant la phase d'expérimentation. L'ensemble des pannes a pu être identifié et géré plus ou moins facilement selon le composant à remplacer. En général, les connecteurs posent le plus de problèmes si des erreurs de sertissage ou de section de câble au niveau du faisceau ont été commises. Certaines erreurs de manipulations au niveau de la batterie +12V peuvent aussi provoquer des pannes de l'électronique. Depuis, des corrections ont été apportées aussi bien au niveau du logiciel de gestion et au niveau du câblage afin de palier à toute défaillance aléatoire. De même, un gros travail a été fait pour améliorer l'étanchéité du véhicule.

### *Lot 1.4 – Évaluation et réalisation d'un système de climatisation magnétocalorique*

L'innovation majeure du lot 1.4 du projet ZEN e-Drive réside dans l'évolution et la réalisation de deux unités magnétocaloriques pour le refroidissement et le chauffage d'un véhicule électrique. L'effet magnétocalorique (EMC) est une propriété intrinsèque aux matériaux magnétiques. C'est la capacité d'éléments appelés matériaux magnétocaloriques (MMC) à s'échauffer et à se refroidir quand ils sont plongés ou retirés d'un champ magnétique. Cet effet est réversible et ne s'atténue pas avec le temps. Ce projet a démontré que la réfrigération magnétique est une alternative à la technologie actuelle à compression de gaz. Le système ne contient pas de gaz à effet de serre et est entièrement sûr car le liquide caloporteur n'est ni inflammable, ni toxique, contrairement à d'autres solutions de rechange aux gaz fluorés tels que le propane (R290) ou l'ammoniac (R717).

COOLTECH a conçu, fabriqué et testé 2 démonstrateurs de cette technologie sans gaz ni produits dangereux. La consommation d'énergie a été optimisée sur chaque sous-ensemble pour augmenter le coefficient de performance. Ces deux démonstrateurs ont été testés dans des chambres climatiques pour simuler une intégration à bord du véhicule. Cette nouvelle technologie est déjà adaptée pour les applications statiques avec une température ambiante

contrôlée (comme les vitrines de présentation pour la réfrigération commerciale). Les essais lors du projet ZEN e-Drive ont montré que la charge de réfrigération requise par un véhicule électrique est pour l'instant trop élevée pour les démonstrateurs testés, avec des alliages magnétocaloriques de 1<sup>ère</sup> génération dans un champ magnétique limité, pour le coût et la taille demandés. Des modifications sont également nécessaires sur le circuit secondaire, comme sur les échangeurs de chaleur afin de s'adapter aux nouvelles exigences de cette technologie. A moyen terme, une optimisation des boucles thermiques et des matériaux magnétocaloriques associée à des fréquences plus élevées permettra d'augmenter très sensiblement la capacité de refroidissement pour atteindre les objectifs.

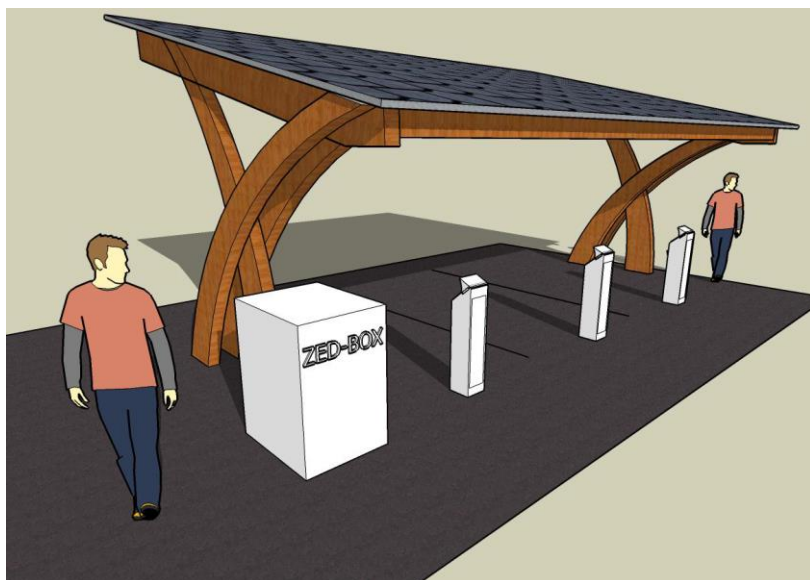
Ce projet a également généré des spécifications précises, des lignes directrices pour la conception suivante et une feuille de route pour l'industrialisation de cette technologie pour le marché automobile. Certaines pistes technologiques explorées dans ce projet sont déjà approfondies sur les machines pour la réfrigération commerciale.

### *Lot 2 – Convertisseurs stationnaires Boost MPPT*

Une architecture de conversion d'énergie permettant d'optimiser les flux d'énergie a été définie par le CEA. Cependant, la solution batterie extractible sur le véhicule avec la possibilité d'un échange de batterie en station de recharge a été abandonnée au début du projet (mi-2011). Par conséquent, le CEA n'a pas réalisé les travaux portant sur le convertisseur d'énergie Max Power Point Tracking (Boost MPPT) qui devait être implanté sur les stations solaires permettant de recharger directement des packs batteries véhicules LFP/C (lithium fer phosphate / anode carbone) de 10 kWh.

### *Lot 3 – Station solaire*

Le design retenu de la station solaire, modèle ILIOPARK du constructeur haut Savoyard IMPACT ENERGIE, est le suivant :



La station de recharge de l'INES a une capacité de 12 places et comporte 21 kWc de modules photovoltaïques. Dans le cadre du projet, cette station de recharge a été découpée en 3 sous stations distinctes. Deux stations de 3 places ont été spécifiquement équipées et utilisées pour les besoins de l'expérimentation ZEN-EDRIVE. Elles sont composées :

- de coffrets électriques spécifiques baptisés Z-Box comportant chacun :

- une batterie stationnaire, de technologie plomb acide VRLA et d'une capacité approximative de 20 kWh. La tension de la batterie est de 48 V
- un onduleur / chargeur de batterie
- 3 départs permettant d'alimenter les trois bornes de recharge de la sous-station concernée
- les éléments nécessaires au contrôle-commande du système
- de champ PV d'une puissance crête de 5,25 kWc

Le CEA a effectué une analyse poussée pour l'architecture électrique et les choix des composants afin de garantir un fonctionnement robuste et fiable. Les deux stations de 3 places mises en service à partir du 2 Juin 2014 continuent de fonctionner à ce jour.

Par ailleurs, une gestion des flux d'énergie a été mise en place. Chaque station de recharge reçoit périodiquement des consignes de la supervision du parc de stations. Ces consignes devront être appliquées localement à travers le contrôle de divers organes et/ou composants. D'un autre côté, en fonction des événements locaux (incident sur le réseau, départ d'un véhicule, nouveau véhicule à charger, passage nuageux,...), des modifications doivent être apportées aux consignes reçues afin de conserver globalement une efficacité, un comportement ou un bilan énergétique/environnemental conforme aux objectifs poursuivis par la supervision.

Une première étape a consisté à définir le cahier des charges fonctionnel de l'organe de gestion local. Ensuite il a fallu développer les algorithmes et en parallèle définir et mettre au point le matériel nécessaire (instrumentation, communication, contrôle/commande embarqué ...).

Un algorithme de gestion de l'énergie a été développé et implanté sur le PC de gestion. Il présente trois modes de fonctionnement :

1. A l'équilibre : la consommation de la station est plus ou moins égale à la production PV
2. Consommateur : la consommation de la station est supérieure à la production PV
3. Producteur : la consommation de la station est inférieure à la production PV

La couche réactive a quatre moyens d'actions sur :

- la production PV : celle-ci peut être volontairement dégradé en cas de surproduction PV. Un mécanisme est présent dans le XTENDER et l'onduleur PV peut faire ceci
- la batterie stationnaire : charger/décharger la batterie
- le réseau électrique de distribution : utiliser l'énergie du réseau en respectant une puissance maximale (Preseau\_source), injecter le surplus de production PV sur le réseau en respectant également une puissance maximale (Preseau\_charge) ou encore se déconnecter du réseau
- le contrôle de la charge des VEs : activer / désactiver la charge

Le système de gestion d'énergie est en exploitation depuis juillet 2014 avec un fonctionnement correct jusqu'à ce jour.

#### *Lot 4*

Un outil de prévision de la production d'énergie solaire a été développé et mis en œuvre dans le cadre du projet.

Par ailleurs, un nouvel outil de simulation permettant d'évaluer l'impact des VE sur les réseaux électriques a été développé. Une approche de type Monte-Carlo, portant sur certaines variables aléatoires, a été retenue. Des simulations ont été réalisées. Il est difficile de généraliser les conclusions (au niveau quantitatif) sur le taux limite de pénétration de VE et sur l'impact des solutions proposées car cela dépend de différents facteurs (ex : condition initiale de charge, type de réseau, ...). Concernant les réseaux étudiés avec les hypothèses retenues, quelques conclusions ont pu être tirées :

- Il y a des risques de sous tension sur les réseaux ruraux (longue distance et faible section des lignes), mais moins de risque de problème de congestion
- Il y a des risques de congestion sur les réseaux urbains (courtes longueurs et fortes sections des câbles souterrains) mais moins de problème de tension
- En général, sur les réseaux de distribution français, le taux de pénétration « nodal » des VE de 30 % ne pose pas des contraintes techniques (avec les hypothèses retenues dans cette étude)
- Sur le réseau BT en France avec les types de câble utilisés (urbain : câble souterrain de 150 ou 240 mm<sup>2</sup> ; rural : torsadé de 70 mm<sup>2</sup> ou aérien en cuivre de 48 mm<sup>2</sup>), il n'y a pas de risque de congestion sur les lignes mais il y a des risques de congestion sur le transformateur de distribution HTA/BT
- Il y a des problèmes de déséquilibre de tension entre phases pour le réseau rural mais moins de problème pour le réseau urbain
- Les pertes supplémentaires dues à ces déséquilibres en tension peuvent être importantes (jusqu'à 18 % des pertes totales pour le réseau rural et 8 % pour le réseau urbain)
- La répartition des VE sur les phases a aussi un impact significatif sur la tension. Une pénétration de 10 VE sur une même phase a une influence plus importante que la pénétration de 20 VE bien répartis sur trois phases
- La solution du décalage temporel de la recharge entre 22 et 24 H est très efficace car permet (1) d'augmenter le taux de pénétration des VE jusqu'à 100 % pour le réseau rural et 30 % pour le réseau urbain, (2) de lisser la courbe de charge, (3) d'obtenir un gain économique important (241 €/an pour le tarif dynamique et 146 €/an pour le tarif heures creuses / heures pleines)
- La réduction de la puissance de recharge (2,1 kW au lieu de 3 kW) à un impact positif sensible (à la fois au niveau technique et économique).

Enfin une phase de test des stations de recharge, des véhicules et de vieillissement des batteries a été réalisée.

Les deux stations Zen E-Drive ont été mises en service en juin 2014. Différents retours d'expérience ont été enregistrés : (1) l'incompatibilité de la station dotée d'un stockage avec certains véhicules, (2) des difficultés pour estimer l'état de charge de la batterie stationnaire. Malgré ces difficultés, 267 journées où des recharges de véhicules ont été effectuées (essentiellement sur des véhicules Twizy), ont pu être analysées. Le stockage stationnaire et le système de gestion d'énergie contribue à augmenter d'environ 21,6 % la couverture solaire. On observe également que la variation de couverture solaire est indépendante de la saison.

Le lot Monitoring du projet a permis d'obtenir un retour d'expérience sur 4 véhicules de type C'ZEN équipés d'un pack batterie constitué de 7 modules Valence U27-12XP. Les véhicules ont été livrés au CEA entre novembre 2014 et mars 2015. Après une phase d'instrumentation, trois de ces véhicules sont restés au CEA et ont été utilisés durant plusieurs mois, jusqu'à l'été 2015. Le quatrième véhicule a été utilisé par la société Courb, en région lyonnaise. Chacun des trois véhicules présents au CEA a été utilisé en appliquant un usage spécifique :

- deux véhicules ont été utilisés de manière intense, en montagne et sur autoroute. L'un a été utilisé sur une large plage d'état de charge (de 30 à 100 % de SOC), l'autre sur une plage d'état de charge plus réduite.
- le troisième véhicule a été utilisé en cherchant à minimiser le vieillissement de la batterie, avec des roulages urbain et sur route. L'état de charge a été cyclé autour de 50 %, sans jamais dépasser 70 %. Le véhicule a par ailleurs été généralement garé à l'intérieur du laboratoire.



Ces usages ont été mis en œuvre durant environ 3 mois, puis deux packs batterie ont été cyclés sur banc de test afin d'intensifier leur utilisation. Afin d'évaluer la dégradation de l'état de santé des packs batterie, des caractérisations sur banc ont été réalisées en début puis en fin de campagne d'essai. Une dégradation des capacités énergétiques des packs a été observée, avec des écarts corrélés au type d'usage (intensité kilométrique, plages de SOC vues par les batteries). Le pack batterie ayant été le plus sollicité a notamment présenté l'évolution suivante :

- perte de 3 % observée début 2015, liée à l'effet du vieillissement calendaire depuis le début de vie des modules, considéré au 1<sup>er</sup> janvier 2014,
- perte totale de 8,3 % observée à l'issue des périodes de roulage et de cyclage sur banc de test, pour une énergie totale délivrée de 1426 kWh, soit 115 fois la capacité initiale.

Afin d'être en mesure d'estimer la durabilité des batteries pour d'autres conditions d'usage et pour d'autres conditions climatiques, un modèle de vieillissement de pack batterie a été constitué à partir de modèles d'autres cellules de type LiFePO<sub>4</sub> disponibles au CEA. Ce modèle a été ajusté afin de coller au vieillissement observé avec les véhicules du projet. La température batterie étant un paramètre d'entrée important des modèles de vieillissement, un modèle thermique du pack a également été développé. Ce modèle a été validé grâce à trois essais thermiques distincts. A noter cependant que la faible durée d'expérimentation sur véhicules (3 mois environ) puis sur banc de test, dégrade la qualité de la validation des modèles de vieillissement, et a un impact négatif sur la précision des simulations. Par ailleurs, l'expérimentation ayant eu lieu au printemps et en été ; la partie modèle de vieillissement en cyclage à froid (0 °C) n'a pas pu être recalée. Or nous avons vu que cet aspect a un impact significatif sur la durabilité des packs batterie en climat tempéré et froid. Une étude paramétrique de durabilité des packs batterie a néanmoins pu être réalisée. Cette étude a permis d'évaluer l'influence :

- des conditions climatiques (température ambiante constante de 20 et 40 °C, et à températures variables de type Grenoble, Europe du nord (Finlande) et Europe du sud (Espagne),
- du type d'usage (usage intense montagne et autoroute de 30 000 km/an et usage urbain plus calme de 9 200 km/an),
- de la cyclabilité des batteries (aptitude à cycliser à chaud et à froid).

En considérant une capacité de cyclage à chaud des batteries de 1200 cycles (valeur recalée sur résultats véhicules), on estime une durabilité en usage réel et à 20 °C de 56 800 à 65 200 km selon l'intensité de l'usage. L'effet de l'augmentation de la cyclabilité à chaud a par ailleurs été évalué. Une température ambiante de 40 °C dégrade nettement cette durabilité. On montre cependant que même avec un climat de type Séville, dans le sud de l'Espagne, la batterie passe en fait très peu de temps à des températures élevées. On n'obtient pas de vieillissement calendaire particulièrement plus élevé à Séville qu'avec une température constante de 20 °C. Cette étude montre en revanche qu'avec le climat d'Europe occidentale et d'Europe du nord, les batteries sont régulièrement utilisées à des températures inférieures à 10 voire 0 °C. On montre que :

- à Grenoble, la batterie passe 33 % du temps à moins de 10 °C,
- en Finlande, la batterie passe 65 % du temps à moins de 10 °C et 27 % du temps à moins de 0 °C.

L'aptitude des batteries à cycliser à froid a donc un effet significatif sur la durabilité observée pour ces régions. Si on considère par exemple une durabilité en cyclage à 0 °C de 240 cycles (soit 5 fois moins qu'à chaud), on a une durabilité 13 % plus faible à Grenoble qu'à 20 °C et 28 % plus faible en Finlande qu'à 20 °C.

## Conclusion et perspectives

COURB a réalisé les véhicules démonstrateurs dont quatre ont été présentés en octobre 2012 au Mondial de l'Automobile à Paris et quatre véhicules quadricycles lourds L7E présentés au salon de Genève en 2012. Le véhicule C-ZEN a été homologué N1 en juin 2014. Deux véhicules homologués N1 ont été présentés au salon Mondial de l'Automobile de Paris en 2014 et 3 véhicules ont été utilisés par le CEA pour effectuer des mesures.

COURB a mis en œuvre son centre de production (Atelier et Outillages) qui est pleinement opérationnel. La capacité de production maximale est de 8 véhicules par jour. De plus, le projet a permis d'embaucher 30 personnes supplémentaires qui ont été employées à l'atelier. Ainsi, ce programme de recherche a permis à COURB de développer le véhicule C-ZEN jusqu'à son homologation en L7E et N1 NKS mais aussi d'obtenir le label origine France garantie.

Le CEA a développé un algorithme permettant de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour recharger les batteries au cours de la journée. Il a aussi développé la powerbox qui est constituée d'une borne de recharge et d'une batterie de stockage stationnaire chargé par les panneaux solaires photovoltaïques de l'INES. Un suivi du vieillissement des batteries a été réalisé par le CEA sur trois véhicules et sur banc d'essais.

COOLTECH a mesuré les performances des matériaux magnétocaloriques qu'ils utilisent en atteignant de nouveaux résultats très prometteurs pour le prototype qui n'a pas pu être installé dans les véhicules du fait de sa taille imposante et de la nécessité de la réalisation d'un véhicule spécifique.

Afin d'aller encore plus loin dans la mobilité propre, nous pouvons imaginer à l'avenir coupler la station solaire avec de l'hydrogène afin d'alimenter une pile à combustible pour améliorer l'autonomie des véhicules. Nous restons toutefois dubitatifs sur le rendement énergétique de cette solution. Un système de charge rapide utilisant le même système avec un stockage stationnaire et de l'électronique embarqué serait un plus pour populariser les véhicules électriques. L'expérience de TESLA le prouve avec du stockage stationnaire (batteries Tesla pour la maison) tel qu'il vient d'être lancé commercialement aux USA. La convergence habitat transport doit impérativement se développer afin de permettre l'avènement du marché des véhicules électriques, notamment auprès des particuliers.

En parallèle COURB travaille sur les chimies Lithium Soufre qui ont actuellement une densité de 500 Wh/kg et qui promettent 2000 Wh/kg, ce qui représente une autonomie de 300 km à 800 km en réduisant le poids des batteries par deux. Cela va donc limiter le nombre de cycles de charge (environ 1000) mais va nécessiter plus d'énergie à la borne.

Il est donc fortement conseillé de développer les bornes de recharge à forte puissance en France. Des entreprises qui fournissent de l'électricité comme CNR et EDF prouvent que l'énergie peut être propre et renouvelable, autrement dit pas en contradiction avec l'écologie.

## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)



ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01