

Prototype PGO HEMERA Electrique : Réalisation de la chaîne de traction électrique

Daniel Matt, Yaël Thiaux, Thomas Gallego, Cyril Bonneau, Nabil Boureghda, Damien Gonçalves De La Loma
yael.thiaux@iut-nimes.fr

Adresse: IUT de Nîmes - Département GEII - CS 12007- 8, rue Jules Raimu 30907 Nîmes Cedex 2

RESUME : La finalité du projet « PGO Electrique 2012 » a été la réalisation d'un prototype de véhicule électrique développé sur la base du châssis d'un véhicule de série : le modèle Héméra de la société PGO. Cette société automobile ayant gracieusement mis à disposition du projet deux de ses véhicules. La chaîne de traction électrique, basée sur l'association d'accumulateurs « lithium-fer-phosphate » et de 2 moteurs à courant continu, a été réalisée par le département GEII de l'IUT de Nîmes. Ces travaux ont été menés dans le cadre de projets tuteurés et de stage de fin de DUT. Le véhicule a été finalisé et présenté au Trophée de la Société des Ingénieurs de l'Automobile 2012 qui s'est déroulé début Juin 2012 sur le circuit de Versailles Satory.

Mots clés : véhicule électrique, accumulateurs lithium-fer-phosphate, chaîne de traction électrique

1 INTRODUCTION

Le projet « PGO électrique 2012 » a été mené durant l'année scolaire 2011/2012 par l'association EMASIA [1] créée par des étudiants de l'Ecole des Mines d'Alès et regroupant des étudiants de l'Ecole des Mines d'Alès [2], du Centre de Formation des Apprentis d'Alès [3], de l'IUT de Nîmes, département GEII [4] et de l'Ecole Supérieure de Commerce de Clermont-Ferrand [5]. Le but du projet était de développer entièrement un prototype de véhicule électrique innovant basé sur un châssis de PGO modèle Héméra fourni par la société PGO [6]. Le véhicule finalisé est présenté à la Figure 1.



fig 1 : PGO Héméra Electrique lors du Trophée SIA

Pour ce projet transversal, mobilisant des compétences d'ingénierie électrique, de mécatronique au sens large, les différentes entités de l'association EMASIA se sont concentrées chacune sur un des axes principaux du projet :

- **Ecole des Mines d'Alès (EMA) :** coordination du projet et intégration de matériaux innovants à la carrosserie (fibre de lin, vernis sans solvant ...) et à l'habitacle (tissus de liège ...).
- **Société PGO :** fourniture de deux véhicules, modèle Héméra.
- **IUT de Nîmes, département GEII :** développement complet de la chaîne de traction

électrique du véhicule ainsi que de l'instrumentation associée.

- **CFA d'Alès :** conception et réalisation d'une carrosserie entièrement amovible, intégration des moteurs électriques, finitions mécaniques.
- **ESC de Clermont-Ferrand :** communication liée au projet.

Ce véhicule était à l'origine prévu pour pouvoir fonctionner en mode hybride série en y ajoutant un moteur thermique permettant de recharger les accumulateurs. Cette partie n'a pas été entièrement finalisée en 2012 et ne sera pas développée dans cet article.

2 CAHIER DES CHARGES

Le cahier des charges initial de ce véhicule était simple, il devait satisfaire à deux objectifs.

Le premier est imposé par la société PGO :

- qualité de finition au standard de la marque,
- garder le caractère sportif du véhicule, le critère principal retenu est alors celui de l'accélération, le passage de 0 à 100 km/h doit s'effectuer en moins de 10 secondes, le critère secondaire retenu est celui de la vitesse maximale qui doit être de l'ordre de 130 km/h.

Le second est imposé par la participation au trophée SIA :

- qualité perçue et règles de sécurité inspirées des standards de l'automobile
- respect de règles dimensionnelles « usuelles » définies par le règlement du trophée
- capacité de freinage proche de celle d'un véhicule de série
- tenue de route, maniabilité, accessibilité à l'habitacle au standard « usuel » de l'automobile
- satisfaire à l'épreuve de régularité qui consiste à effectuer un parcours sur piste d'une durée de 45 minutes, à une vitesse régulière d'environ 60 km/h (volontairement peu élevée ce n'est pas

une épreuve de vitesse), en maîtrisant sa consommation énergétique.

Compte tenu du temps imparti pour la réalisation complète du véhicule (moins de 8 mois), les pièces du véhicule n'ont fait l'objet d'aucune conception spécifique, tout le matériel sera issu de catalogues distributeurs.

Les caractéristiques utiles au dimensionnement de la chaîne de traction électrique sont rappelées dans le Tableau 1.

| Caractéristique | Valeur | Unité |
|--|--------|----------------|
| Masse véhicule (M) | 1000 | kg |
| Coefficient de traînée (C _x) | 0,35 | |
| Vitesse de croisière | 90 | km/h |
| Vitesse maximale | 130 | km/h |
| Maître-couple | 2 | m ² |
| Rendement chaîne transmission mécanique | 90 | % |
| Coefficient de résistance au roulement (C _r) | 0,015 | |

Tableau 1 : Caractéristiques utilisées pour le dimensionnement de la chaîne de traction électrique

Les forces de résistance à l'avancée du véhicule, à plat, sont au nombre de 2 :

1. Force de résistance au roulement (F_r)

Cette force est calculée de la manière suivante :

$$F_r = M \cdot g \cdot C_r \quad (1)$$

Soit une force de 147 N.

2. Force de résistance aérodynamique à l'avancement (F_a)

Cette force peut simplement se calculer de la manière suivante :

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \quad (2)$$

En considérant que la masse volumique de l'air est égale à 1,2 kg/m³, et que le maître-couple, S, du véhicule est de 2 m², la force de traînée peut donc être estimée à 528 N à la vitesse maximale de 130 km/h.

Si l'on considère un rendement de la chaîne de transmission de 90%, la puissance nécessaire à la vitesse de croisière du véhicule est de :

$$P_{nom} = \frac{(F_r + F_a) \cdot v}{\eta} \quad (3)$$

Soit 27 kW de puissance nécessaire à l'avancement en vitesse de croisière du véhicule, soit l'équivalent d'un moteur de 37 ch.

Cette puissance n'est toutefois pas dimensionnante car elle ne satisfait pas au besoin en termes d'accélération (0 à 100 km/h en moins de 10s). Il faut

alors calculer cette dernière à partir de la force motrice, F_m, issue du moteur :

$$F_m = k \cdot C_m \quad (4)$$

où C_m représente le couple sur l'arbre du moteur ; le coefficient k est calculé à partir du rapport de boîte de vitesse et du diamètre des roues.

En intégrant l'équation de la dynamique nous obtenons la vitesse du véhicule au cours du temps, sur une phase de démarrage, avec le passage des vitesses. Nous ne développerons pas ici ce calcul qui ne présente pas de difficulté, mais nous en retiendrons la conséquence pour le dimensionnement du moteur : **il est nécessaire de disposer transitoirement d'une puissance de 64 kW pour satisfaire au cahier des charges.**

3 CHAÎNE DE TRACTION ELECTRIQUE

La chaîne de traction électrique a été entièrement développée au sein du département GEII de l'IUT de Nîmes.

3.1 Motorisation électrique

La puissance électrique nécessaire à l'avancement du véhicule à une vitesse de 130 km/h a été estimée à 27 kW, sachant qu'il est nécessaire de pouvoir disposer transitoirement d'une puissance supérieure à 60 kW. Notre choix s'est porté sur un montage associant, sur le même arbre, deux moteurs à courant continu du fabricant Lynch Motor Company [7]. La puissance nominale de l'ensemble est de 34 kW (D135RAG (Figure 2)).

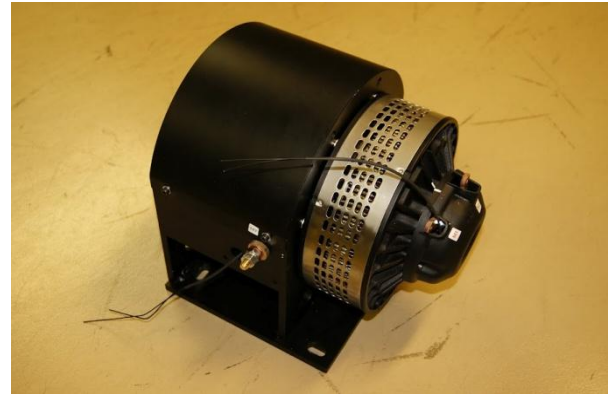


fig 2: Moteur D135RAG utilisé

Les caractéristiques principales de ce moteur sont spécifiées Tableau 2 :

| Caractéristique | Valeur | Unité |
|------------------|--------|--------|
| Vitesse nominale | 4000 | tr/min |
| Tension nominale | 96 | V |
| Courant nominal | 2x200 | A |
| Couple nominal | 2x39,9 | Nm |
| Courant max. | 2x400 | A |

| | | |
|--------------------|------|----|
| Puissance nominale | 2x17 | kW |
| Puissance crête | 2x34 | kW |

Tableau 2 : Caractéristiques du moteur D135RAG

Le choix d'associer deux moteurs en série a été dicté par des considérations de disponibilité, mais cette solution offre une redondance de la chaîne de traction électrique permettant de fonctionner en mode dégradé sur un moteur en cas de panne.

De façon à pouvoir assurer une accélération suffisante au véhicule, nous avons décidé de conserver la boîte de vitesse du véhicule original, les 2 moteurs ont alors été accouplés directement (sans embrayage) sur la boîte par le CFA d'Alès (Figure 3). Le poids total des 2 moteurs et du support avoisine les 70 kg.



fig.3 : Accouplement des 2 moteurs utilisés

3.2 Accumulateurs Lithium-Fer-Phosphate

La batterie d'accumulateurs a été réalisée par la mise en série de 24 éléments de technologie Lithium Fer Phosphate, du fabricant Winston [8]. Les principales caractéristiques des accumulateurs utilisés (GWL LFP160AH) sont rappelées Tableau 3. La tension nominale de ces accumulateurs est de 3,2V.

| Caractéristique | Valeur | Unité |
|--------------------|------------|-------|
| Plage de tension | [2,8 ; 4] | V |
| Tension nominale | 3,2 | V |
| Capacité (C) | 160 | A.h |
| Décharge nominale | 3 C | A |
| Décharge maximale | 20 C | A |
| Dimensions (L*1*h) | 182*70*279 | mm |
| Poids | 5,8 | kg |

Tableau 3 : Caractéristiques principales des accumulateurs GWLLFP160AH

Cette technologie d'accumulateurs offre une énergie massique relativement importante (≈ 90 Wh/kg) par rapport à la technologie Plomb-Acide (≈ 30 Wh/kg).

La puissance électrique nécessaire pour se déplacer à la vitesse de croisière de 90 km/h est égale, environ, à 12 kW. Les 24 éléments en série nous offrent une énergie de :

$$W_{Bat} = 24 \cdot 3,2 \cdot 160 \sim 12 \text{ kWh (5)}$$

L'énergie embarquée est donc théoriquement suffisante pour assurer une autonomie d'environ une heure à la vitesse de croisière.

Afin de garantir la longévité (2 à 3000 cycles) de la batterie d'accumulateur, il est nécessaire d'y associer un système de gestion temps réel des différents éléments (Battery Management System (BMS)). Ce BMS a pour rôle d'équilibrer la charge et la décharge des 24 éléments. Chaque élément est contrôlé en tension et en température par une carte électronique d'équilibrage visible Figure 4.

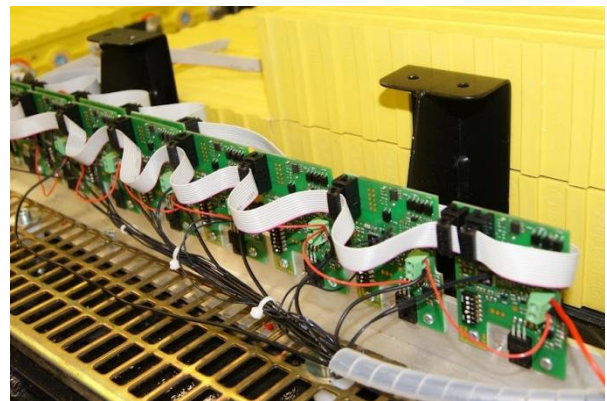


fig.4: Circuits équilibrage des accumulateurs Lithium-Fer-Phosphate, et accumulateurs en arrière plan

Les 24 circuits d'équilibrage communiquent avec le gestionnaire central (RT-BMS Control Unit (Figure 5)), capable de gérer jusqu'à 64 éléments. Ce BMS est paramétrable via un logiciel, l'ensemble des données mesurées sur les batteries peuvent être exploitées.

Les accumulateurs ainsi que le système de gestion associé ont été placés dans un rack situé sous le châssis de la voiture. Cette position permet de déplacer le centre de gravité du véhicule vers le bas, améliorant ainsi la tenue de route. Un système de ventilation constitué de 8 ventilateurs a été monté sur ce rack de façon à limiter, le cas échéant, l'échauffement des accumulateurs.

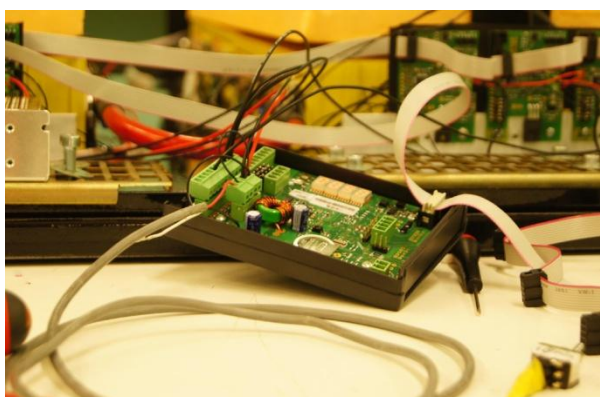


fig.5 : Gestionnaire central des éléments Li-ion

3.3 Hacheurs

Les hacheurs utilisés (1 variateur par moteur) ont été développés par le fabricant PG Drives Technology (Figure 6). Il s'agit de convertisseurs de la famille SIGMADRIVE [9], spécialement conçus pour le contrôle de moteurs électriques dédiés à la propulsion électrique. Les principales caractéristiques de ces hacheurs (PMT835M) sont rappelées Tableau 4 :

| Caractéristique | Valeur | Unité |
|----------------------------|--------------|-------|
| Plage de tension | [72 ; 80] | V |
| Courant maximal en continu | 120 A / 1 h | A |
| Courant maximal admissible | 350 A / 60 s | A |
| Fréquence de découpage | 14,5 | kHz |

Tableau 4 : Principales caractéristiques des hacheurs utilisés



fig.6 : Variateurs montés sur le châssis

4 TROPHEE SIA

Comme prévu initialement, la PGO Héméra électrique a participé début juin au trophée SIA.

L'aspect innovant ainsi que la qualité apportée à la réalisation du véhicule a été soulignée. Deux prix ont été remportés :

- Prix **FAURECIA** : Style et Qualité perçue
- Prix **UTAC** : Sécurité

Ces résultats sont encourageants au vu des délais qui ont été tenus pour la réalisation du véhicule. En effet, entre le moment où nous avons été sollicités par l'Ecole des Mines d'Alès et le Trophée SIA, seulement 8 mois se sont écoulés.



fig.7 : l'équipe EMASIA au trophée SIA

5 EVOLUTIONS ATTENDUES

Pour cette nouvelle année, une dizaine d'étudiants travailleront au cours de leur projet tuteuré à une nouvelle chaîne de traction électrique. Les moteurs à courant continu vont être délaissés au profit de moteurs synchrones autopilotés développés spécifiquement pour notre application par l'IUT en partenariat avec le laboratoire IES [10] et la société ERNEO [11]. La boîte de vitesse sera aussi supprimée. Nous augmenterons l'énergie embarquée et la tension maximale disponible en passant de 24 à 32 éléments d'accumulateur.

6 CONCLUSION

Ce projet pluridisciplinaire a mobilisé plus d'une cinquantaine d'étudiants et enseignants de 4 établissements différents et a abouti à la réalisation en l'espace d'une année scolaire d'un véhicule électrique de qualité. A l'IUT GEII de Nîmes, ce projet est de nouveau sur les rails pour la nouvelle année scolaire. Les étudiants travailleront dans le cadre de leur projet tuteuré sur l'amélioration de la chaîne de traction électrique.

7 REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont bien entendu à l'Ecole des Mines d'Alès pour nous avoir sollicités et pour nous avoir fait confiance pour le développement de la chaîne de traction électrique du véhicule. Nous remer-

cions aussi la société PGO pour avoir fourni le châssis du véhicule.

Liens

- [1] Association EMASIA : <http://www.emasia.fr>
- [2] Ecole des Mines d'Alès : <http://www.mines-ales.fr/>
- [3] Centre de Formation des Apprentis d'Alès : <http://www.ales.cci.fr/>
- [4] Département GEII - IUT Nîmes : <http://geii.iut-nimes.fr>
- [5] Ecole Supérieure de Commerce de Clermont-Ferrand : <http://www.esc-clermont.fr/>
- [6] Société PGO : <http://www.pgo.fr/>
- [8] GWL Power <http://www.ev-power.eu/>
- [8] Fabricant PGDT: <http://www.pgdt.com/>
- [9] Fabricant Lynch Motor Company : <http://www.lemcoltd.com/>
- [10] Laboratoire IES : <http://www.ies.univ-montp2.fr/>
- [11] Société ERNEO : <http://www.erneo.fr/>