

L'Eco-Marathon et la pédagogie par projet

Ing. R. ITTERBEEK
Ir D. KIMPLAIRE
ECAM – Bruxelles

Un « Eco-Marathon » est une compétition qui rassemble des véhicules les moins énergivores possibles. Le projet fut initié à l'ECAM en 2001 par des étudiants et, depuis, les enseignants relancent le projet d'année en année. Cet article donne un aperçu des trois équipes actuelles qui permettent à une trentaine d'étudiants, véritable moteur du projet, de s'investir dans ce projet pédagogique.

Mots-clefs : pédagogie par projet, Eco-Marathon

"Eco-Marathon" is a competition which gathers vehicles using least possible energy. Plan was initiated to ECAM in 2001 by students and, since, the teachers restart plan year by year. This article gives an outline of the three actual teams which allow around thirty students, true motor of plan, to put itself into this pedagogic plan.

Keywords: pedagogy by plan, Eco-Marathon

1. Introduction

L'Eco-Marathon est une compétition automobile dont l'objectif est de promouvoir la recherche de véhicules à très faible consommation de carburant. Chaque année, la société Shell réunit, dans plusieurs coins du monde, des équipes principalement constituées d'étudiants qui ont pour défi de classer leur véhicule parmi les moins polluants du monde. Par exemple, l'épreuve française consiste à parcourir sept tours du circuit de Nogaro (3,636 km) avec une vitesse moyenne minimale de 30 km/h. La consommation mesurée permet d'évaluer la distance qui aurait été parcourue avec un litre de carburant essence Super 95 par extrapolation. Les meilleures performances se situent actuellement à près de 4000 km pour un seul litre d'essence équivalent. Par ailleurs, une organisation belge renaît cette année 2008 : le Belgian Eco-Marathon. L'idée est la même mais la forme un peu différente : l'épreuve consiste à démarrer avec une certaine quantité de carburant et à aller le plus loin possible jusqu'à l'arrêt du véhicule. A l'avenir, la compétition pourrait se dérouler en plusieurs manches. Les compétitions s'ouvrent également aux énergies alternatives : pile à combustible, photovoltaïque, biocarburants, ...

C'est au début de l'année académique 2001-2002 que quelques étudiants de l'ECAM, entamant alors leur dernière année d'études dans la section électromécanique, ont exprimé leur souhait de participer à un tel événement. Ils ont rapidement persuadé les enseignants que la conception suivie de la réalisation d'un premier prototype pouvait faire l'objet de plusieurs travaux de fin d'études (TFE). C'est toute une équipe, constituée d'étudiants et d'enseignants, qui s'est alors formée autour de ce projet. Le premier prototype est alors baptisé « Solifuge ». L'équipe de l'ECAM réussit le challenge de concevoir et de fabriquer le véhicule. Sa première performance est de 137 km/litre. D'année en année, le projet est relancé et les performances du solifuge accrues : de 403 km/litre en 2003 à Nogaro à 645 km/litre en 2007. Le « Solifuge » ayant atteint ses limites de développement, les « thermiciens » travaillent actuellement à la réalisation d'un second prototype : la « Gerbille ». Il présente de nombreuses améliorations telles que l'injection électronique, la réduction du poids, les freins à disques, ... et devrait être opérationnel en 2009.

Les organisateurs favorisant de plus en plus les véhicules qui ressemblent davantage à l'automobile telle que nous la connaissons (catégorie appelée

« Urban Concept »), ainsi que les énergies alternatives, deux nouvelles équipes voient le jour à l'ECAM en 2006-2007. La première, constituée de diplômés de l'ECAM réalise un « Urban Concept » ressemblant à une Renault Megane Trophy, propulsé par un moteur thermique Diesel et baptisé « M'ECAM Trophy ». Ce véhicule a réalisé 280 km avec un litre de Diesel en 2008. La deuxième idée naît du laboratoire d'électricité industrielle de l'ECAM qui, après avoir récupéré l'ancien solifuge rebaptisé « Elecam », souhaite étudier une motorisation électrique alimentée par une pile à combustible.

Cet article décrit l'état actuel d'un projet très évolutif et fait suite à un premier article auquel le lecteur peut se référer [1]. En 2008, l'ECAM compte donc trois véhicules associés à trois équipes différentes :

- « Gerbille », moteur essence, laboratoire de mécanique
- « M'ECAM Trophy », moteur Diesel, laboratoire de mécanique (anciens diplômés)
- « Elecam », moteur électrique, laboratoire d'électricité industrielle

Chacune des trois équipes met en évidence le même caractère pédagogique du projet, thème abordé dans la section suivante. Par contre, les technologies, optiques et méthodes de travail sont légèrement différentes d'une équipe à l'autre. Elles seront également décrites dans la suite de l'article.



Figure 1 : La « M'ECAM Trophy »

2. Pédagogie du projet

Comme l'écrit Meirieu [2], « on peut introduire des temps de production afin de faire émerger, à partir d'un projet de fabrication auquel les étudiants sont confrontés, des exigences scolaires ou des connaissances à s'approprier ». La pédagogie par projet consiste ici à mettre les étudiants face à un projet concret au cours duquel ils pourront développer certaines qualités attendues dans leur futur métier d'ingénieur industriel. D'un point de vue pédagogique, le projet présente les caractéristiques suivantes [3]:

- Il est une tâche décidée de commun accord par un groupe d'étudiants.
- Il place les étudiants dans une situation authentique d'expérience.
- Il constitue un véritable problème motivant la recherche, la réflexion et l'apprentissage.
- Il est suffisamment complexe pour constituer un défi, compte tenu des possibilités des étudiants.
- Il exige une réalisation effective et totale dans un certain délai.

Plusieurs raisons en relation avec ces différentes facettes ont conduit le projet initial des étudiants à devenir un projet ECAM :

- Les différents travaux de fin d'études consacrés au sujet, concentrés initialement dans les domaines mécanique, thermique et fabrication mécanique se sont étendus dans bien d'autres domaines comme l'électricité (banc d'essais moteur, motorisation électrique, ...) et l'électronique (injection électronique, commande du moteur Brushless, acquisition de données...), ... Il s'agit donc là d'un projet multidisciplinaire et ouvert.
- La structure permet aux étudiants de combiner leur investissement dans le projet avec des activités d'enseignement telles que des bureaux d'étude, des laboratoires et des travaux réalisés dans le cadre de certains cours.
- Un projet concret comme l'Eco-Marathon est l'occasion de souligner l'importance de l'intégration des matières dans la formation des ingénieurs. Outre les qualités techniques, le projet valorise aussi des comportements de type affectif: travail en équipe, autonomie, responsabilité, initiative, polyvalence, ouverture d'esprit, ...

Bien au-delà d'une activité technique, l'Eco-Marathon est un véritable challenge impliquant de nombreuses ressources humaines et matérielles au sein de l'institut. Chaque année, les défis sont de taille et passionnants. Se préparer à participer à un marathon est déjà un engagement. Mais le vrai

défi professionnel est d'y intégrer toutes les ressources techniques et intellectuelles nécessaires et d'arriver à boucler cette préparation dans les délais.

Ainsi, pour que le projet soit mené à bien, plusieurs enseignants assurent l'encadrement des étudiants. Ceux-ci établissent les contacts avec les organisateurs et planifient le travail en fixant les objectifs à court et à long terme. Ils sont le fil conducteur tout au long de l'année et répartissent les tâches. Ils organisent la participation à la compétition. Enfin, ils assurent la continuité du projet d'une année à l'autre auprès des étudiants et proposent des travaux de fin d'études. Chaque année académique commence donc par un recrutement d'étudiants volontaires dans les cinq années d'études du Master en Sciences de l'ingénieur industriel. Chacun participe à sa façon, s'investissant selon le temps et l'énergie qu'il désire accorder au projet. La mission peut donc varier du simple observateur au chef d'équipe. La tâche peut aller d'un travail de laboratoire à un travail de fin d'études. Des réunions d'état d'avancement sont régulièrement fixées, soit avec l'ensemble du groupe, soit en comité restreint avec les enseignants.

3. Projet thermique

Historiquement, le premier projet de l'ECAM était la conception d'un véhicule léger propulsé par un moteur thermique essence à quatre temps. Très classique en somme. Pourquoi ce choix ? Les initiateurs sont partis d'une feuille blanche et ont émis quelques contraintes qui sont devenues la base du fil conducteur du projet.

Parmi ces contraintes, la première était d'être classé à chaque participation d'un événement Eco-Marathon, ce qui se traduit par un effort dans la fiabilité des divers composants du véhicule ainsi qu'une certaine simplicité.

La deuxième contrainte était de pouvoir tout fabriquer en interne, c'est-à-dire avec les moyens disponibles dans notre établissement. Suite à cela, la conception du véhicule se résumait à un châssis d'aluminium sur lequel était déposée une coque. La question du moteur était un problème plus délicat. Puisqu'il fallait réaliser notre moteur avec nos propres ressources, le choix s'est porté sur un type de moteur simple et bien connu de tous, le moteur essence quatre temps. Il est vrai que dans une première phase, un moteur Honda de 50 cc (de tondeuse à gazon) existant, a été acheté, le temps

d'étudier et de concevoir un moteur spécifique à une telle compétition. Le futur moteur ECAM, entièrement conçu dans l'institut, est attendu pour juin 2009. Etonnamment, une conséquence de cette deuxième contrainte est de trouver, en interne, un pilote le plus léger possible avec une certaine expérience de la conduite, ce qui est relativement difficile en raison de la taille et du poids moyens d'un étudiant de l'Ecarn (1,70m pour 70kg).

La troisième contrainte est plutôt un état d'esprit : les étudiants sont le moteur du projet. C'est évidemment beaucoup plus motivant pour eux de pouvoir confronter leurs idées à la pratique que d'être soumis à des concepts imposés par un professeur. Le rôle des enseignants est d'encadrer et de guider les étudiants au fil des ans.



Figure 2 : Les étudiants à l'œuvre

C'est principalement au sein des travaux de fin d'études de dernière année que se conçoivent les grandes options du projet : conception de la coque, de la direction, de la transmission, du moteur thermique, etc. Les étudiants autres que ceux de l'année terminale ont la possibilité de participer au développement d'une partie du projet global lors de leurs différents laboratoires et/ou bureaux d'études. Ils signent un contrat avec l'enseignant de laboratoire concerné afin de remplacer entièrement ou en partie les séances académiques prévues dans le cursus scolaire par une étude et/ou réalisation d'une partie bien précise du projet global. Cela permet d'être confronté à un cas concret et ainsi de passer de la théorie à la pratique.

Il existe aussi une forme de "parrainage" entre les étudiants de 1^{ère} année de baccalauréat qui désirent s'investir dans le projet et un groupe d'étudiants d'années supérieures qui sont effectivement impliqués dans le projet. Cela permet de créer des liens et une certaine continuité.

4. Projet électrique

Le projet électrique concerne le véhicule « Elecam » et son projet nommé ECOELEC.

4.1 Technologie

Initialement, le projet fait suite au souhait des enseignants du laboratoire d'électricité industrielle de mettre à jour les manipulations de ce laboratoire. Deux voies intéressantes sont analysées pour remplacer une partie des manipulations consacrées aux machines à courant continu à balais : d'une part, les machines tournantes dites spéciales (moteurs Brushless, moteurs pas-à-pas, moteurs linéaires, servo, ...) et, d'autre part, la conversion d'énergie dans les systèmes d'énergies renouvelables (machines asynchrones à double alimentation dans l'éolien, conversion de l'énergie photovoltaïque, ...). La réflexion débouche sur l'étude d'un moteur-moyeu Brushless alimenté par une pile à combustible et monté sur un véhicule léger, en l'occurrence le « Solifuge ». La densité d'énergie élevée d'une supercapacité pourrait également contribuer à la traction dans les transitoires. L'optimisation énergétique du système de traction constitue la base des recherches.

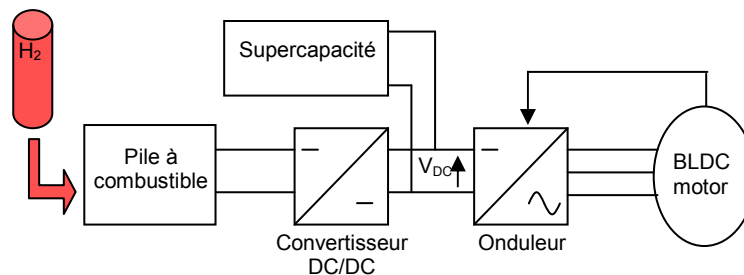


Figure 3 : Système de traction étudié

Le moteur électrique est rapidement acheté. Il a la particularité de commuter électroniquement et de disposer d'aimants sur un rotor externe solidaire de la roue. Une étude théorique et une modélisation sur MATLAB-Simulink du moteur et de sa commande débute rapidement. Un banc d'essai pour le véhicule également réalisé dans le cadre d'un travail de fin d'études permet

alors d'expérimenter la motorisation et de confronter les résultats avec la modélisation. Du point de vue de la recherche d'un optimum énergétique, l'expérimentation revient à établir une cartographie de rendements qui soulève plusieurs pistes de réflexion dont de mauvais roulements sur le moteur ou encore l'existence de courants de Foucault créant des pertes importantes en roue libre. La modélisation permet quant à elle d'évaluer les pertes, de prévoir des routines d'optimisation et de remettre en question le type de commande.

Le travail sur la pile à combustible se limite dans un premier temps à une étude théorique, à une modélisation et à une analyse financière. Celle-ci montre que la conversion électrochimique de l'hydrogène est une technologie en pleine évolution et représente un investissement très lourd à supporter. Les premiers essais sont donc réalisés à partir d'une batterie Lithium-ion puis d'une batterie de dernière technologie Lithium-polymère et ont permis de réaliser une performance de près de 1450 km avec l'équivalent énergétique d'un litre d'essence.

4.2 Objectifs et méthode

Bien plus qu'une manipulation de laboratoire, le projet se trouve d'emblé des objectifs à moyen terme (participer à une compétition pour comparer nos performances et acquérir des données en vue d'apporter des améliorations) et à long terme (concevoir un véhicule électrique, léger et pratique pour de courts déplacements). De plus, le caractère pédagogique d'un tel projet a été démontré dans le deuxième paragraphe. Le plus intéressant est de faire en sorte que l'investissement dans le projet constitue une méthode d'apprentissage originale pour les étudiants. Par exemple, en 2007-2008, suite au passage des études de 4 à 5 années d'étude, aucun travail de fin d'études n'a été réalisé. C'est une dizaine d'étudiants de 3^{ème} année de baccalauréat et de 1^{ère} année de master qui se sont investis dans le projet pendant leur temps libre. Certains étudiants se sont donc intéressés au fonctionnement du moteur Brushless avant même d'avoir suivi le cours de machines électriques. La participation prochaine au Belgian Eco Marathon ainsi que des possibilités de partenariats avec des entreprises laissent présager un avenir prometteur pour le projet.

Remarquons encore qu'à la différence des thermiciens, le projet ECOELEC se concentre sur un système de traction électrique existant qui a été choisi et dimensionné. Le châssis est récupéré : les contraintes mécaniques et aérodynamiques ne sont pas remises en question. Le projet tente de lier le

caractère théorique au travers de la modélisation et de la recherche au côté pratique au travers du dimensionnement et de l'expérimentation.

5. Conclusion

A l'heure actuelle, les trois équipes de l'ECAM poursuivent leurs objectifs respectifs dans un cadre pédagogique. C'est aussi principalement en fonction de la motivation des étudiants que les objectifs sont redéfinis au fur et à mesure des années. En fonction des aspirations de chaque groupe ainsi que des possibilités de partenariats avec une ou l'autre entreprise, les alternatives telles que les biocarburants et le photovoltaïque ne sont pas exclues. L'organisation du Belgian Eco Marathon est une bonne nouvelle qui va permettre aux projets de prendre un nouveau tournant. Cette compétition belge donnera une visibilité accrue et permettra à davantage d'étudiants d'accompagner les équipes.

6. Références bibliographiques

- [1] ITTERBEEK, R., ZONE, G., CALLEWAERT, A., « Réalisation d'un Eco-prototype » in *Revue scientifique ISILF*, 2004, pp. 135-142
- [2] MEIRIEU, PH., *Apprendre... oui, mais comment ?*, Paris, ESF, 1997.
- [3] MINDER, M., L'organisation du curriculum, *Didactique fonctionnelle. Objectifs, stratégies, évaluation*, Paris-Bruxelles : De Boeck (8^{ème} éd. Actualisée), 1999, pp. 96-97