

# Investigations sur le comportement de capteurs de choc à l'aide d'un accélérateur à bobine d'induction

Caroline GAUTHIER-BLUM<sup>a</sup>, Lothar GERNANDT<sup>a</sup>, Sigo SCHARNHOLZ<sup>a</sup>,  
Philippe COMBETTE<sup>b</sup>, Alain GIANI<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institut Franco-allemand de Recherches de Saint Louis (ISL), Saint Louis, France

<sup>b</sup> Institut d'Electronique et des Systèmes (IES), UMR 5214, Université Montpellier, Montpellier, France

**RESUME** - L'installation TICAT décrite dans ce rapport offre une alternative très intéressante et une souplesse d'utilisation par rapport à d'autres moyens d'essais d'accélération mécanique. Ce rapport décrit les études et essais de tenue aux chocs de capteurs non encapsulés. Pour ces essais, la plage d'accélération atteignait une durée jusqu'à 1 ms avec des amplitudes d'accélération en augmentation graduelle pour arriver à des ordres de grandeur de 10 000 g ou d'avantage. La linéarité du signal de réponse des capteurs a pu être vérifiée dans une plage d'accélération comprise de 500 à 10 000 g.

**Mots-clés**—Champ magnétique, techniques de mesures, bobine, accélération, capteur.

## 1. INTRODUCTION

Les exigences posées aux composants optiques et électroniques en matière de résistance face aux chocs mécaniques ainsi que leur tenue lors de l'accélération, ont nettement augmenté ces dernières années, tant dans les domaines civils que de la défense. Il s'avère donc nécessaire d'effectuer un essai de fonctionnement de ces composants dans des conditions plus contraignantes notamment sous l'effet de forces d'accélération transitoires. Au cours de ces dernières années l'ISL a mis en place un banc d'essais destiné à étudier la résistance à l'accélération de composants optiques et électroniques (TICAT - Test bench with Inductive Coil systems for Acceleration Tests). Ce système modulaire est particulièrement apte à générer des forces d'accélération transitoires dans des véhicules d'essais de forme quelconque.

Cet article décrit des essais effectués dans le cadre d'un projet ANR-ASTRID RAGE. Ce projet comprend le développement de capteurs accéléromètres basés sur un principe physique de convection thermique sans masse sismique [1, 2]. Il a été mis en œuvre les moyens permettant de tester l'aptitude de mesurer, durant les phases successives d'accélération choc, les comportements des accéléromètres prototypes. Chaque étape de développement du banc d'essais ainsi que les différentes séries de tests seront détaillées. Dans ce contexte, le défi consistait à réaliser des mesures en dynamique à l'aide d'un capteur prototype non encapsulé, pendant les phases d'accélération ainsi que durant la décélération et procéder à sa récupération.

## 2. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAIS

On génère les forces de propulsion dans un élément conducteur électrique du véhicule d'essais suivant le schéma

électrique équivalent donné en figure 1. Comme propulseur on utilise un accélérateur à bobine d'induction qui utilise les forces de répulsion entre deux champs magnétiques. Le premier champ magnétique, nommé champ de propulsion est généré par une bobine de propulsion fixe  $L_A$  parcourue par un courant. Le second champ magnétique orienté dans le sens opposé est généré par induction dans l'élément conducteur du véhicule d'essai symbolisé par  $L_P$ , les actions combinées conduisent à générer des forces de répulsion qui conduisent à l'accélération. La bobine de propulsion étant maintenue immobile, c'est le véhicule qui connaît ainsi une accélération sans le besoin d'une quelconque autre transmission mécanique.

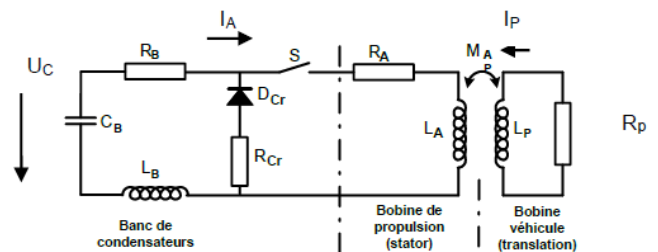


Fig.1 Schéma électrique équivalent de l'accélérateur à bobine à induction

Le banc d'essai se décompose en cinq sous-ensembles : la source d'énergie commandée par le biais d'un commutateur à semi-conducteurs équipé d'une diode Crowbar  $D_{Cr}$ , la bobine de propulsion (bobine stator) le tube de vol libre, la bobine véhicule (bobine de translation) ou cargo ainsi que l'ensemble de freinage pour récupérer la partie mobile et l'équipement de métrologie. La durée et l'amplitude de l'accélération du véhicule d'essais sont déterminées par la capacité  $C_B$  du banc de condensateurs utilisée et de l'inductance de la bobine de propulsion employée. Ces temps peuvent varier de  $t_p = 25 \mu s$  à  $t_p = 1\,600 \mu s$ . La tension de charge du banc de condensateurs détermine quant à elle l'amplitude de l'impulsion d'accélération. L'utilisation d'une diode Crowbar permet d'éviter un profil de courant oscillant négatif.

### 2.1. Construction du système

Pour la bobine de propulsion  $L_A$ , il est d'une part possible d'utiliser une bobine transformateur stator mise au point à l'ISL, breveté [3] comme il est également possible d'avoir recours à des bobines enroulées de façon asymétrique. La bobine transformateur se caractérise par une bonne stabilité. La bobine de transformateur utilisée présente au côté primaire

quatre enroulements mis en parallèle de 30 spires et ~~seulement~~ une spire unique au côté secondaire.

La bobine de translation  $L_P$  peut avoir différentes formes selon les applications. Néanmoins, la forme de la bobine de translation s'emboîte à celle de la bobine stator afin d'optimiser le couplage magnétique. Etant donné qu'il est nécessaire de considérer le poids total du véhicule, il n'est pas toujours possible d'avoir recours à des matériaux tout en cuivre pour cette bobine. On optera dans ce cas pour un alliage d'aluminium qui présente des caractéristiques mécaniques élevées, ainsi qu'une bonne conductivité électrique, ceci afin de limiter les pertes ohmiques de la bobine de translation. Dans le cadre de l'étude, on a choisi pour les séries d'essais avec les temps d'accélération les plus élevés un module de propulsion combiné : en cuivre pour la partie électrique (induction) et en alliage d'aluminium pour la partie transmission des forces d'accélération.

La décélération du véhicule de test se fait mécaniquement par frottement dans la plupart des cas. Lors d'essais prévoyant une très longue trajectoire de vol du véhicule et des accélérations assez fortes, le freinage du véhicule se fait par le biais d'un dispositif mécanique à amortissement progressif.

## 2.2. Métrologie

Pour des raisons de sécurité électrique, les appareils destinés à enregistrer les signaux de mesure ainsi que le pupitre de commande sont découplés de façon galvanique du banc de test. Avec des tensions de charge des condensateurs pouvant aller jusqu'à  $U_C = 10$  kV, l'isolation galvanique n'est possible que grâce à des systèmes de découplage par fibre optique. Un enregistreur de transitoires se charge d'enregistrer les évolutions des signaux. Des sondes haute tension mesurent la tension aux bornes des condensateurs, une ceinture de Rogowski et un intégrateur actif mesurent quant à eux le profil du courant dans la bobine stator. Pour les études décrites par la suite, on enregistre également le déroulement de l'accélération au moyen d'un capteur d'accélération de référence piézo-électrique. Les signaux de mesure à analyser ainsi que les paramètres de mesures issus de l'accéléromètre prototype issu du projet RAGE sont pris en compte lors des essais.

## 3. RESULTATS DES ESSAIS D'ACCELERATION

Différentes campagnes de mesures ont été conduites. L'article final reviendra de manière détaillée uniquement sur un seul de ces essais.

Le poids total du véhicule d'essais est de 520 g avec la fenêtre de blindage pour une longueur de 215 mm. Les capteurs prototypes étaient montés sur un porte-échantillon de test. L'alimentation en énergie électrique ainsi que la transmission de signaux sont réalisées par un câble multibrins blindé qui subit également les accélérations et les décélération. Afin de limiter les contraintes de traction qui s'exercent sur ceux-ci, les câbles sont maintenus au module par une tige servant de guide elle-même vissée. Le diagramme de la figure 2 présente un essai typique. Lors de cet essai, la tension de charge du condensateur était réglée de telle manière que l'on obtienne une accélération maximale de  $a = 6\,500$  g. La courbe d'accélération mesurée par l'accéléromètre de référence est  $\frac{1}{2}$  sinusoïdale et suit la courbe du courant dans la bobine stator jusqu'à la valeur maximum, la fréquence du signal  $f = 1\,050$  Hz (courbe verte).

Des séries de tests ont été réalisées pour répondre à la question de la linéarité des capteurs soumis à de chocs. On a conduit deux séries de tests avec un capteur prototype. Lors de

ces essais, la tension de charge du condensateur a été augmentée progressivement pour passer d'une amplitude d'accélération de 800 g à près de 12 000 g. Les résultats obtenus au cours des deux campagnes de mesures montrent une dépendance linéaire des valeurs maximales d'accélération mesurées tant pour le capteur de référence qu'avec le capteur d'accélération à convection thermique étudié. Ces résultats correspondent aux tests menés comparativement avec le capteur placé dans une centrifugeuse. En centrifugeuse, le capteur est soumis à des accélérations réglables jusqu'à 10 000 g.

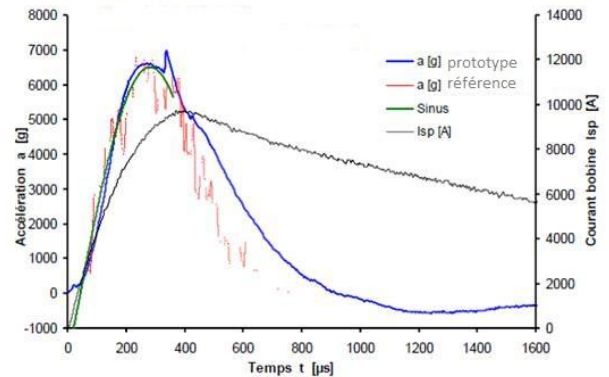


Fig.2 Diagramme des signaux enregistrés lors d'un essai typique – phase d'accélération.

## 4. CONCLUSIONS

Le banc d'essais TICAT a permis de procéder à des essais d'accélération sur un système de capteur prototype qui ne comporte pas masse de scellement pour renforcer le maintien des fils de liaison du capteur vers la connexion électrique. Il a donc été nécessaire dans ce contexte, de prendre des contre-mesures aux perturbations électromagnétiques. Différentes solutions ont été mises au point et testées. La meilleure variante développée et adoptée a permis d'analyser le couplage magnétique au moyen de mesures comparatives pour le système d'un tel capteur prototype.

Le véhicule d'essais, conçu de manière modulaire, a montré ses avantages. Il est également adapté à des amplitudes d'accélérations plus importantes avec des durées plus courtes en procédant à quelques modifications. En phase d'accélération, le véhicule d'essais peut atteindre une énergie cinétique allant jusqu'à  $E_c = 1\,000$  J qui devra être absorbée par le système de freinage. Le système de freinage, mis en place dans cette étude, est adapté pour absorber les impulsions d'accélération d'une durée de  $t_a \sim 1$  ms et une amplitude d'accélération pouvant atteindre et dépasser les 10 000 g.

## 5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la DGA et l'ANR pour le soutien financier dans le cadre du projet RAGE (ANR-11-ASTR-01101).

## 6. REFERENCES

- [1] F. Mailly, A. Giani, A. Martinez, R. Bonnot, P. Temple-Boyer, « Micromachined thermal accelerometer », Sensors and Actuators A: Physical Volume 103 (3), pp 359-363, 2003
- [2] Courteaud, J., Crespy, N., Combette, P., Giani A. « Studies and optimization of the frequency response of a micromachined thermal accelerometer » Sensors and Actuators A: Physical Volume 147 (1) pp. 75-82, 2008
- [3] L. Gernandt, Bobine de transformateur, brevet no. 2 843 64