

## ÉTUDE DE VIBRATIONS POUR UN DISPOSITIF OPTIQUE DE VISÉE MONTÉ SUR UNE ARME AUTOMATIQUE

Virgil TUDOSE<sup>1</sup>, Ioan PĂRĂUȘANU<sup>2</sup>, Doru GOGA<sup>3</sup>, Marius CÎRMACI<sup>4</sup>,  
Ștefan SOROHAN<sup>5</sup>, Horia GHEORGHIU<sup>6</sup>

*În vederea proiectării/reproiectării aparatului de ochire montat pe o armă automată, trebuie luate în considerație unele probleme legate de comportamentul dinamic sub sarcinile care apar pe timpul tragerii. Este analizată comportarea la vibrații a structurii mecanice a aparatului de ochire, în condițiile unei excitații cu frecvența prescrisă de tragere. Studiul este efectuat experimental și se prezintă o simulare numerică pentru determinarea frecvențelor proprii ale structurii mecanice a aparatului.*

*Afin de concevoir/reconcevoir l'appareil de visée monté sur une arme automatique, il est à prendre en considération certaines questions liées aux charges dynamiques pendant le tir. Il est analysé le comportement vibratoire de la structure mécanique d'un dispositif de visée, face à une excitation avec la fréquence de tir prescrite. L'étude est effectuée tant par calcul numérique, que expérimentalement, dans des conditions de laboratoire et dans des conditions de fonctionnement.*

*To design/redesign the optical sights mounted on an automatic weapon, it is to consider some issues related to dynamic loads occurring during firing. We analyze the vibrational behavior of the mechanical structure of an aiming device, faced with an excitation frequency of prescribed fire. The study is carried out by numerical calculation and experimentally, in laboratory conditions and in operating conditions.*

**Keywords:** vibration, optical sights structure, weapon

### 1. Introduction

Pendant le tir automatique, en fonction de la cadence de tir, par suite des chocs dans la structure de l'arme, les vibrations produites peuvent affecter le dispositif de visée, avec son système de fixation [1]. L'affaiblissement de la précision de visée induite de cette manière est suffisant pour compromettre le rôle

---

<sup>1</sup> PhD Student, University POLITEHNICA of Bucharest, Romania, e-mail: tudose\_virgil@yahoo.com

<sup>2</sup> Prof., University POLITEHNICA of Bucharest, Romania

<sup>3</sup> Prof., Military Technical Academy of Bucharest, Romania

<sup>4</sup> Lecturer, Military Technical Academy of Bucharest, Romania

<sup>5</sup> Lecturer, University POLITEHNICA of Bucharest, Romania

<sup>6</sup> Prof., University POLITEHNICA of Bucharest, Romania

de l'appareil. Pour cette raison, lors de la conception d'un tel dispositif, à côté des autres études, il est nécessaire d'entreprendre une étude des vibrations.

Le but de ce travail est de déterminer les fréquences propres, afin de déterminer le comportement vibratoire de l'ensemble de l'appareil de visée - système de fixation, pendant le fonctionnement de l'arme.

Puisque la visée est réalisée avant le déclenchement du feu, les amplitudes des vibrations ne présentent pas d'intérêt, tant que la résonance n'est pas atteinte. Par contre, une résonance due à l'excitation par la cadence du tir peut nuire d'une manière importante la fiabilité de l'appareil de visée.

## 2. Structure analysée

La structure du dispositif optique est formée de (Fig. 1.a):

- rail Picatinny (Fig. 1.b);
- pièce d'adaptation et corps de l'appareil de visée (Fig. 1.c).

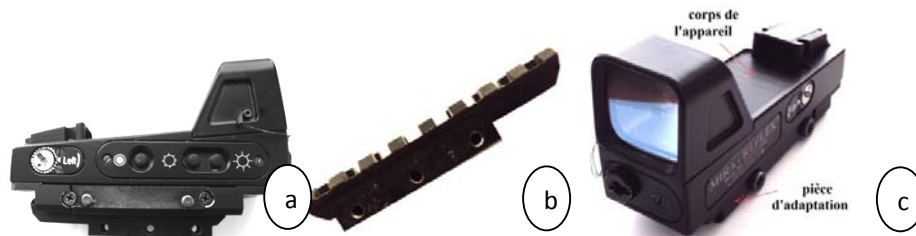


Fig. 1. Composantes du dispositif de visée

## 3. Détermination par calcul numérique des fréquences propres

On recourt à un calcul numérique, par la méthode des éléments finis, puisque un calcul analytique pour déterminer les fréquences propres, ne peut pas être réalisé. Les composantes de l'appareil optique, ayant des géométries complexes (résultat de la haute performance et des options disponibles pour un tel dispositif de visée), font que la modélisation mathématique avec une précision suffisante soit impossible.

La méthode des éléments finis (MEF) permet l'approche d'une grande classe de problèmes dynamiques qui ne peuvent pas être résolues de manière analytique, mais dans le but d'obtenir des résultats plus précis, certaines conditions générales doivent être respectées [2].

Afin d'effectuer une analyse par éléments finis pour étudier les phénomènes liés à l'exploitation de la visée optique, il est nécessaire l'élaboration du modèle de calcul de la structure de l'appareil. Le modèle peut être utilisé pour l'analyse modale ainsi que pour d'autres types d'analyse (statique, dynamique, thermique) [3].

Dans cet article, le modèle est utilisé pour effectuer l'analyse modale, afin de déterminer les fréquences et les modes de vibration de la structure mécanique du dispositif de visée (Fig. 2).

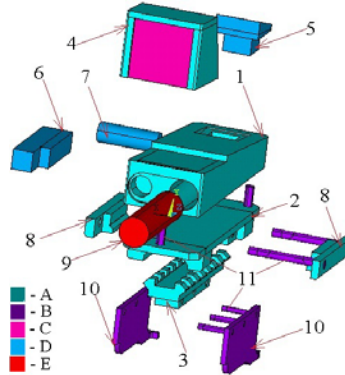


Fig. 2. Composantes mécaniques et optiques de la structure analysée

Les éléments constitutifs de la géométrie sont:

- corps du dispositif(1);
- corps d'adaptation pour le rail Picatinny (2);
- rail Picatinny (3); objectif (4);
- ensemble de transmission du faisceau de lumière (5);
- système START/STOP et réglage de la luminosité du réticule (6);
- système de réglage du réticule dans le plan horizontal (7);
- pièce pour le montage sur le rail (8);
- batterie (9);
- pièce pour le montage sur l'arme (10);
- vis (11).

Les caractéristiques des matériaux sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1**

**Caractéristiques des matériaux définis**

Matériau	Nom du matériau	Module d'élasticité longitudinal [MPa]	Coefficient de contraction transversal	Densité [kg/m <sup>3</sup> ]
A	duralumin	70000	0,33	2700
B	acier	210000	0,3	7850
C	verre	70000	0,22	2500
D	*	210000	0,3	1500
E	**	70000	0,34	2950

\* on a défini un matériau dont la valeur de la densité est telle que le volume des composantes modelées par ce matériau ait une masse similaire a celle réelle;

\*\* on a modelé la batterie électrique par un corps fait en un matériau à densité correspondantes.

Pour la modélisation, de la bibliothèque du logiciel utilisé on a choisi, l'élément fini Solid 92, qui est approprié pour réaliser des discrétisations des modèles irréguliers (modèles à partir de CAD/CAM) et qui est défini par 10 nœuds [4]. La géométrie du Solid 92 est illustrée dans la figure 3.

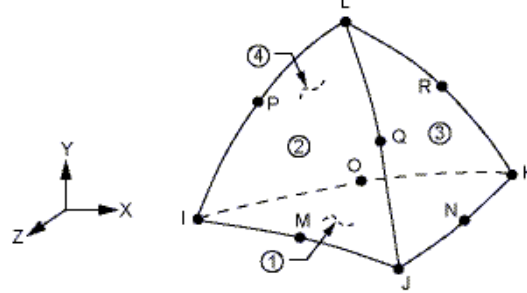


Fig. 3. Élément fini Solid 92

La dimension des éléments est de 2 mm pour les vis, 4 mm pour les corps 1, 4, 5, 6 et 7 (Fig. 2), et 3 mm pour les autres corps. Le modèle a 90764 nœuds et 61726 éléments.

La structure discrétisée est présentée dans la figure 4.

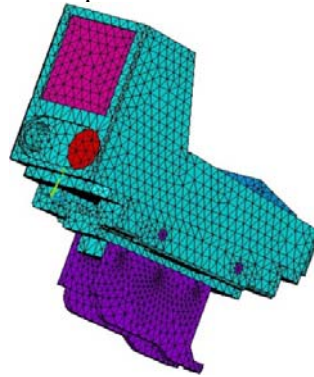


Fig. 4. Discrétisation de la structure

Afin de déterminer les fréquences et les modes propres de vibration, on a utilisé le module d'analyse modale du logiciel ANSYS. Dans le tableau 2, les fréquences sont  $f_1, \dots, f_4$  pour les quatre premiers modes de vibration des structures analysées.

Tableau 2.

Fréquences propres des structures analysées [Hz]			
$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
304,3	512,5	1225,2	2053,7

#### 4. Déterminations expérimentales des fréquences propres de vibration

##### 4.1. Détermination expérimentale des fréquences propres de l'appareil à l'état libre

Les expériences ont été effectuées dans le laboratoire de vibrations du département de Résistance des Matériaux, Université Politehnica de Bucarest.

La structure pour laquelle des mesures expérimentales ont été menées est illustrée dans la figure 1.a.

Matériel utilisé : un système PULSE (Fig. 5) pour l'enregistrement et l'analyse des vibrations, un accéléromètre piézo-électrique (Fig. 6) et un marteau modal (Fig. 7) pour l'excitation de la structure, fabriqués par Brüel&Kjaer [6].



Fig. 5. Système PULSE



Fig. 6.  
Accéléromètre  
piézoélectrique



Fig. 7. Marteau modal

La structure a reçu une excitation de type impact exercée par le marteau modal. L'onde produite par l'impact, compte tenu du très petit délai de temps, fait partie des excitations en régime transitoire, ce qui rends les suivants avantages: prise d'essai à haute vitesse, les dispositifs de fixation spéciaux sont inutiles, il n'y a pas une masse additionnelle qui charge la structure [7][8].

Les déterminations expérimentales ont été réalisées tant pour l'ensemble de l'entier appareil, que pour un ensemble partiel et elles sont notées par :  $S_1$  – ensemble formé du corps de l'appareil de visée et de la pièce d'adaptation ;  $S_2$  – ensemble formé du corps de l'appareil de visée, de la pièce d'adaptation et le rail Picatinny.

Les vibrations obtenues par excitation suivant les directions longitudinale et transversale de l'appareil de visée ont été analysées.

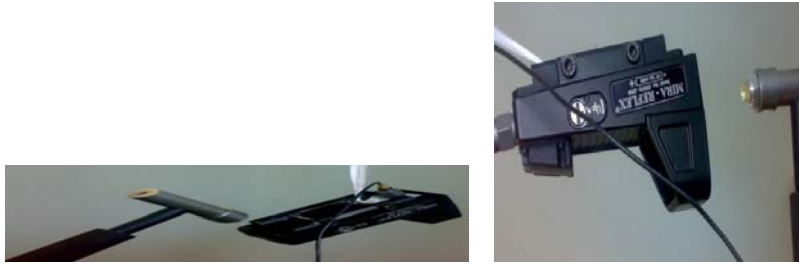


Fig. 8. Montage de l'accéléromètre pour les vibrations transversales (a) et longitudinales (b)

En fonction du type de vibration mesurée (a) ou (b), l'accéléromètre a été monté sur la structure, à l'aide d'un adhésif, en deux positions:

- sur la surface de base pour les vibrations transversales (Fig. 8.a);
- sur la surface frontale pour les vibrations longitudinales (Fig. 8.b).

Pour l'excitation de la structure ont été utilisées les têtes en caoutchouc et en aluminium du marteau modal.

Le type de vibrations mesurées est indiqué dans le tableau 3.

Tableau 3.

Type de vibrations mesurées expérimentalement		
Tête marteau	Vibrations	
	Axiales	Transversales
	Caoutchouc	Aluminium
Caoutchouc	S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>
Aluminium	S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>

A titre d'exemple, deux des enregistrements obtenus pour les courbes de réponse en fréquence sont indiqués dans la figure 9 pour la structure S<sub>1</sub>, pour les vibrations transversales et l'excitation à tête en aluminium ou en caoutchouc.

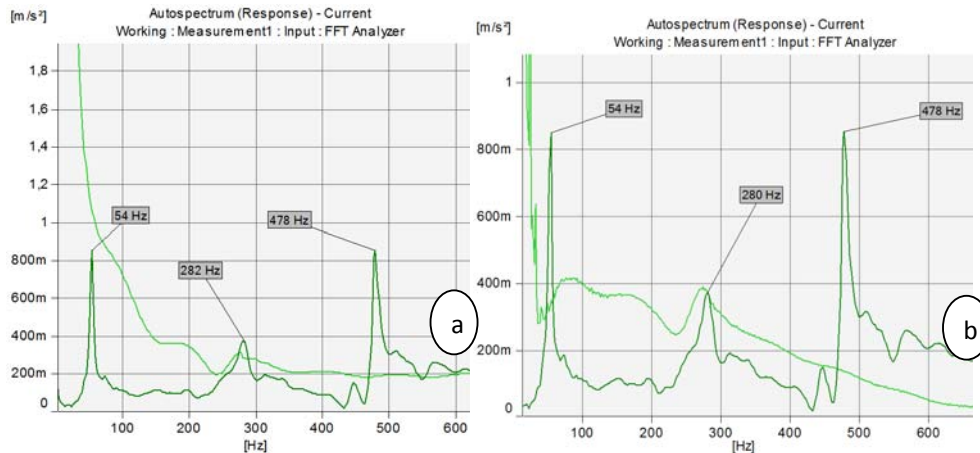


Fig. 9. Courbes de réponse en fréquence, structure S<sub>1</sub>, marteau modal à tête en: aluminium (a), caoutchouc (b)

Tableau 4.

**Fréquences propres pour les trois premiers modes de vibration**

Structure/ direction de mesure/ Tête du marteau	Fréquences propres [Hz]	$f_1$	$f_2$	$f_3$
$S_1$ / vibrations axiales/ caoutchouc		54	280	478
$S_1$ / vibrations axiales / aluminium		54	278	476
$S_1$ / vibrations transversales / caoutchouc		54	278	478
$S_1$ / vibrations transversales / aluminium		54	282	478
$S_2$ / vibrations axiales / caoutchouc		54	280	478
$S_2$ / vibrations axiales / aluminium		54	280	478

#### 4.2. Déterminations expérimentales des vibrations pour l'appareil de visée monté sur l'arme, in situ

Les mesures expérimentales ont été effectuées dans le tunnel balistique de tir, appartenant à l'unité militaire Clinceni, Bucarest.

Le but de ces déterminations a été d'obtenir des données expérimentales concernant les vibrations de l'arme et du dispositif de visée afin d'établir la réaction aux vibrations lors du tir feu par feu (dans des conditions réelles de fonctionnement) de tous l'ensemble dispositif de visée – arme.

La structure utilisée pour les mesures est représentée par le dispositif de visée et l'arme sur laquelle il est monté. Le matériel utilisé est:

- le même système d'enregistrement et d'analyse des vibrations qui a été utilisé pour les expériences de laboratoire (paragraphe précédent), PULSE;
- deux accéléromètres piézoélectriques.

Pendant le tir, l'arme a été fixée à l'aide d'un dispositif spécialement conçu (fig. 10).



Fig. 10. Fixation de l'arme (1) sur le banc de tir (2)



Le tir a été effectué par un fusil d'assaut, calibre 5,45 mm et avec munition de guerre, conformément aux normes de l'OTAN.

Deux séries de mesures de vibration ont été effectuées, dans la première avec un accéléromètre monté sur le couvercle de la boîte des mécanismes (position 2, fig. 11.a), qui mesure la vibration suivant la direction verticale et un accéléromètre sur la chambre des gaz (position 1, Fig. 11.a), qui mesure des vibrations horizontales.

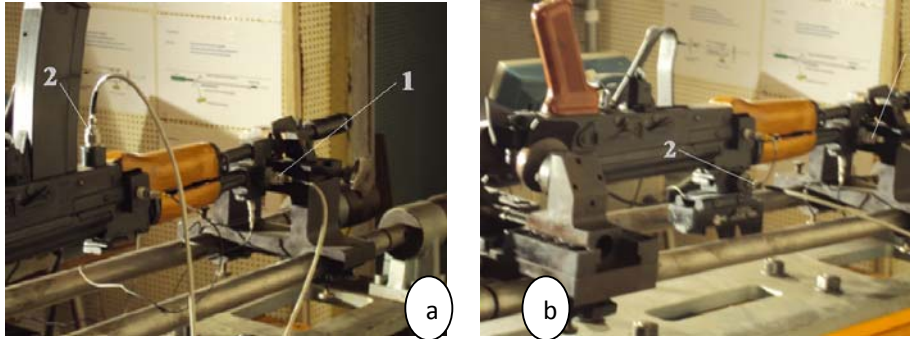


Fig. 11. Emplacement des accéléromètres pour les essais effectués

Dans le second cas, l'accéléromètre de la boîte des mécanismes (position 2 dans la Fig. 11.a) a été déplacé sur le dispositif de visée, de sorte que les deux accéléromètres mesurent les vibrations suivant la direction horizontale (fig. 11.b). Les accéléromètres ont été montés à l'aide des aimants.

Pour les deux groupes des testes, l'excitation a été effectuée par suite du tir à munition de guerre et la vibration a été enregistrée sur les deux premiers canaux de l'équipement PULSE. Les résultats ont été obtenus sous forme de spectres de réponse en fréquences, de type Fourier.

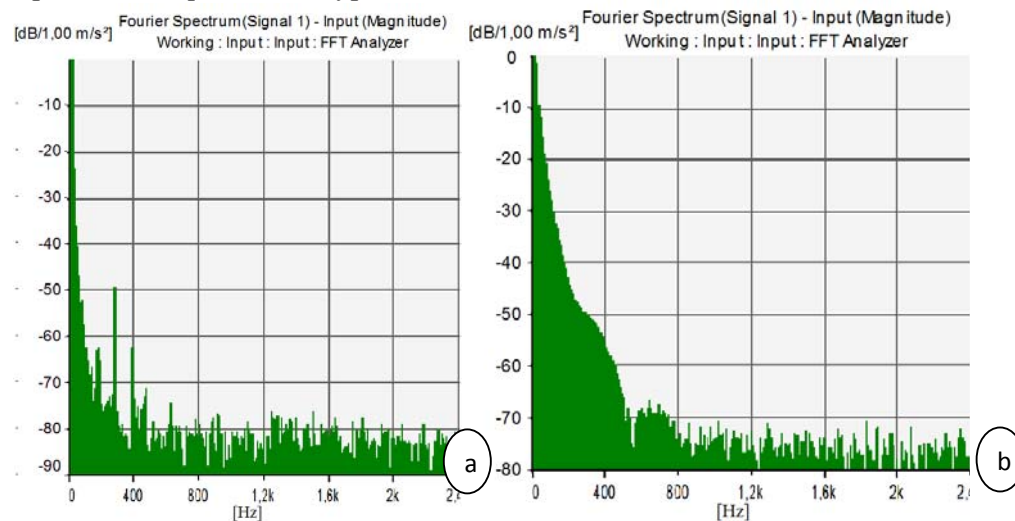


Fig.12. Spectres de réponse en fréquence pour le premier (a) et le second (b) group des testes



La figure 12 donne l'un des spectres de réponse en fréquence, typique à chaque série de tests. Les spectres présentent, en fonction de la fréquence, l'amplitude de l'accélération de la vibration, sur l'horizontale ou sur la verticale, exprimée en décibels.

Le second groupe de tests vise à comparer les fréquences obtenues au niveau du canon du fusil avec celles qui sont obtenues pour le dispositif de visée.

L'analyse des spectres obtenus pour la première série de tests, des spectres semblables à ceux de la figure 12.a, a montré des valeurs maximales de l'accélération de la vibration qui correspondent aux fréquences inscrites dans le tableau 5.

Tableau 5.

**Fréquences propres déterminées pour le premier group de testes**

Capteur	Fréquence [Hz]										
1	232	278	386	466	916	1252	2166	2530	2668	2734	2866
2	176	278	386	620	760	1220	1870	2166	2320	2914	3123

Pour une meilleure comparaison, dans la seconde série de tests, les deux accéléromètres ont été montés dans la même direction, le premier (signal 1) dans la zone du canon et le second (signal 2) sur l'élément de visée.

De l'analyse des spectres obtenus pour la seconde série de tests, résultent des valeurs maximales de l'accélération qui correspondent aux fréquences inscrites dans le tableau 6.

Tableau 6.

**Fréquences propres déterminées pour le second group de testes**

Capteur	Fréquence [Hz]										
1	232	278	386	466	916	1252	2166	2530	2668	2734	2866
2	56	280	480	660	722	1218	1366	1387	1435	2040	3562

## 5. Conclusions

De l'analyse des résultats obtenus par calcul numérique, présentés dans le tableau 2 et des mesures expérimentales, présentées dans les tableaux 4, 5 et 6 résultent les conclusions suivantes:

- la modélisation par éléments finis met en évidence des fréquences propres au delà de 300 Hz;
- pas toutes les fréquences inscrites dans le tableau 5 appartiennent à l'arme. Par exemple, les fréquences de 278 Hz et 386 Hz, obtenues des mesures *in situ*, sont des fréquences propres du dispositif de fixation de l'arme, puisqu'elles sont présentes dans les enregistrements des deux canaux;

- les fréquences calculées par la méthode des éléments finis se retrouvent parmi les fréquences déterminées expérimentalement, à une erreur maximale de 12%;
- la valeur élevée de la première fréquence propre, résultée à la fois par calcul numérique et expérimentalement, montre que, pour le cas particulier de cet appareil, les vibrations ne constituent pas un phénomène qui influence le bon fonctionnement, à une cadence de tir d'environ 600 feux/minute (10 Hz) [9].

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] *I. Marinescu, S. Verbencu*, Mecanisme de armament automat (Mechanisms of automatic weapons), Editura Militară, București, 1973
- [2] *S. Sorohan, I. N. Constantinescu*, Practica modelării și analizei cu elemente finite (The practice of finite element, modeling and analysis), Editura Politehnica Press, București, 2003
- [3] *A. Hadăr, I. N. Constantinescu, H. Gheorghiu, E. C. Coteț*, Modelare si modele pentru calculul în ingineria mecanică (Modelling and calculation models for mechanical engineering), Editura Printech, București, 2007
- [4] \*\*\* ANSYS Tutorials
- [5] *I. Fara*, Alumiuniul de la materie primă la produse finite (Aluminum from raw materials to finished products), Editura tehnică, București, 2000
- [6] \*\*\* <http://www.bksv.com/>
- [7] *I. Părăușanu*, Analiza dinamicii structurilor, Editura Printech, București, 2009
- [8] *C. Ispas, H. Gheorghiu, I. Parausanu*, Vibrations des systemes technologiques, Editura AGIR, Bucuresti, 1999
- [9] \*\*\*<http://en.wikipedia.org/wiki/AK-47>