

**Approche de dimensionnement des équipements électroniques, vis à vis des excitations transitoires "Tir Canon" : Démarche intégrée Systémier/Equipementier.**

**Design methodology of the electronics components, with respect to the transient excitation "Shooting Gun" : Integrated process between Prime-contractor and Sub-contractor**

**Bruno COLIN (Nexter Systems)  
Direction Technique, 11 allée des Marronniers  
78022 Versailles Cedex, France  
[b.colin@nexter-group.fr](mailto:b.colin@nexter-group.fr)**

## **RESUME**

Les développements des produits d'Armement Terrestres sont de plus en plus organisés autour de plans d'acquisition d'équipements étagères provenant du secteur civil. Il convient donc de savoir les protéger, à moindre coût, vis à vis des environnements générés par les perturbations de hauts niveaux, produits par les deux fonctions principales, autour desquelles l'architecture des véhicules terrestres sont classiquement développés, à savoir :

- la fonction mobilité qui, vis à vis des conditions d'emploi dévolues à ce type de véhicule est de nature à générer de forts niveaux de chocs basses et moyennes fréquences aux pieds des équipements électroniques, dimensionnant grandement les interfaces mécaniques de ces derniers,
- la fonction feu qui, vis à vis des conditions d'emploi dévolues aux systèmes d'armes, gros calibres (90mm dans le cas présent) est de nature à générer de forts niveaux de chocs hautes fréquences aux pieds des cartes électroniques, dimensionnant grandement la tenue mécanique de ses composants.

Dans le cadre de la revalorisation de la fonction pointage « Site et Gisement" du Système Tourelle TS90, en exploitation dans les unités de l'Armée Française, l'article présente un aperçu des techniques expérimentales et des méthodes d'ingénierie, mises en place par la Société Nexter pour spécifier ce type de contraintes de dimensionnement à ces équipementiers, en les accompagnant tout au long du processus de développement. Ce processus de conception est alors organisé autour d'une méthodologie de prise en compte des environnements "Système", déclinée au plus près des équipements "sensibles", en s'attachant également aux respects des performances fonctionnelles et de fiabilité système demandées par notre Client final.

## **ABSTRACT**

The developments of land defence products are organized more and more around acquisition plans of equipment off the shelves coming from the civil area. It is thus necessary to know to protect them, at lower cost, against the high level of the environment generated by the two principal functions, around whose the architecture of the armoured vehicles are classically developed, namely:

- the mobility function which generate high levels of shocks in low and intermediate frequency domain, at the points of fixing of the electronics components, dimensioning largely the mechanical interfaces of them,
- the fire function which generate high levels of shocks in high frequency domain at the points of fixing of the electronic cards, dimensioning largely the mechanical resistance of these components.

Within the framework of the revalorization of the fire function of the TS90 Turret System, in exploitation in the units of the French Army, the article presents an outline of the experimental techniques and methods of engineering, developed by the Nexter Systems to specify these constraints of design to equipment suppliers, by accompanying them throughout the process of development. This process of design is then organized around a methodology taking into account the "System" environments, declined as close as possible to the "critical" equipment, while respecting the functional performances and system reliability required by our end customer.

## Mots clés

Tir canon / Chocs / Conception des matériels électroniques / SRC / Processus de personnalisation / Probabilité de défaillance.

## Keyword

Shooting gun / Shocks / Design of the electronic materials / SRS / Tailoring process / Probability of failure.

## 1. Introduction

Dans l'objectif de minimiser le coût de possession des matériels militaires, les industriels de l'Armement sont désormais confrontés au fait d'intégrer des équipements "low cost" provenant du secteur Civil ou Militaire, et non durcis comme par le passé.

C'est le cas notamment des marchés de revalorisation des matériels blindés, développés par Giat industries dans les années 70 - 85 et que Nexter Systems revalorise désormais pour le compte de ses Clients. Récemment, Nexter Systems s'est vu confié par la DGA un marché de revalorisation de ses Tourelles TS90, montées sur Châssis Panhard (ERC90 Sagaie) dans un souci d'en augmenter les performances opérationnelles, à savoir :

- la performance de pointage en Site et en Gisement du système Tourelle,
- la performance de tirs en y ajoutant une fonction de visée de nuit à celle de jour déjà existante,
- la performance de protection en améliorant le niveau de protection de la Tourelle existante.



Face à la nécessité d'intégrer des équipements déjà conçus et qualifiés par ses équipementiers, Nexter Systems, se voit désormais dans l'obligation de mettre en place une démarche d'intégration collaborative entre Systémier et Equipementier, pour garantir à moindre coût une intégration « au juste nécessaire » d'équipements réputés « sensibles », à l'environnement généré par le Tir Canon gros calibre. Afin d'illustrer favorablement cette démarche d'intégration collaborative, le travail ci-dessous expose la problématique rencontrée par le Systémier au stade de la mise en place du plan d'acquisition d'équipements de nature électronique, permettant de revaloriser la fonction pointage de la Tourelle TS90.

## 2. Contraintes d'intégration et plan d'acquisition des équipements nouveaux ou valorisés

Dans le cas présent, il s'agit de présenter l'ensemble des équipements nouveaux à acquérir au titre de la revalorisation de la fonction pointage (et/ou à valoriser), en identifiant les contraintes d'intégration que ces derniers génèrent dans l'architecture initiale du produit. En ce qui concerne le Kit de pointage, les équipements nouveaux à acquérir sont constitués de deux moteurs Site et Gisement, commandés par un boîtier électronique de puissance, comme le montre la Figure 1 qui suit. L'équipement à valoriser concerne le réducteur Gisement, développé initialement par Giat industries, au début de la mise en service de l'ERC90 Sagaie.

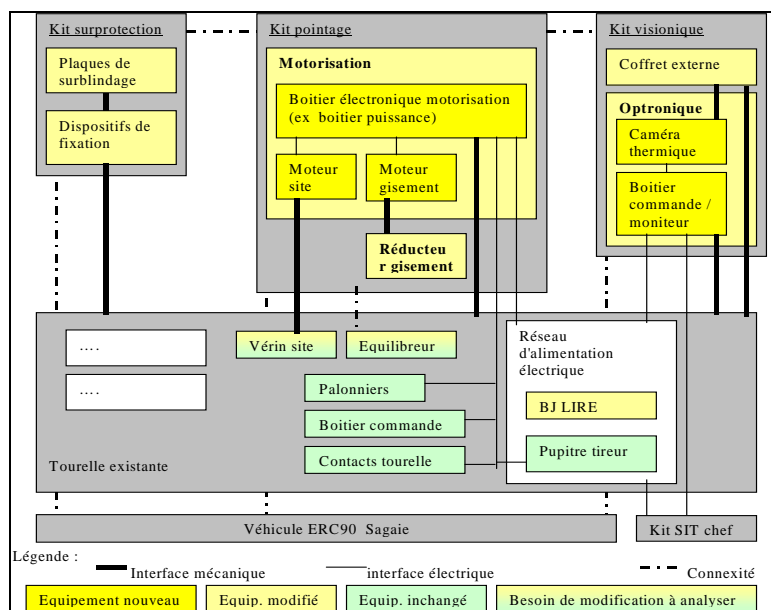


Figure 1 : Architecture Tourelle modifiée et valorisée

Sur ce type de contrat de revalorisation, la difficulté majeure est de revoir l'architecture du concept existant, de manière à pouvoir dégager des zones d'intégration d'équipements nouveaux ou modifiés (valorisés), sans que cela altère les fonctions techniques des autres équipements et donc les performances opérationnelles du produit, situées en dehors du périmètre de la revalorisation. Ces analyses d'architecture et d'impact sur le concept organico-fonctionnel du produit étant réalisées, il s'avère bien souvent impossible de choisir, pour les équipements nouveaux, une zone d'intégration « optimale », capable de garantir les performances techniques de ces derniers dans un environnement mécanique (chocs et vibrations) situé bien en-dessous de celui ayant permis de développer l'équipement étagère considéré.

C'est le cas par exemple du Boîtier électronique de commande des deux moteurs Site et Gisement, qui est un équipement étagère « sensible », non durci, et que l'analyse d'architecture conduit à ne pas pouvoir intégrer sur un support amorti, pour des raisons essentiellement d'encombrement. En effet, ne pouvant l'intégrer sur un support amorti dans la nuque de la Tourelle, qui aurait conduit à limiter de façon non négligeable l'emport de munitions de 90mm, ce dernier a dû être déporté dans l'architecture du Panier de Tourelle, sous le siège Tireur, en lieu et place de la Trousse d'outillage, qui est alors déplacée à la droite du Tireur, comme le montre la Figure 2 qui suit.

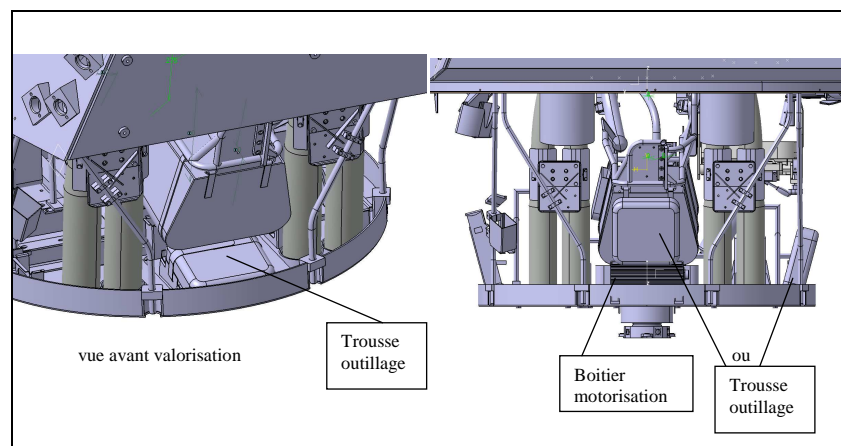


Figure 2 : Contraintes d'intégration et compromis techniques

De ces considérations techniques, il ressort que si l'acquisition des équipements s'effectue initialement pour ses performances techniques, il n'en demeure pas moins vrai que la difficulté réside désormais dans la capacité d'assurer ces dernières dans un environnement Tir Canon, réputé sévère et très dimensionnant pour les équipements de nature électronique.

### 3. Contraintes d'environnement, associées aux équipements « sensibles »

Le Kit de pointage constitué des deux moteurs Site et Gisement et de son Boîtier de Commande est donc une fourniture étagère, mono-source (voir Figure 3), pour lequel une analyse de risques sous l'angle environnemental est réalisée systématiquement par le Systémier au titre de son DJD Système. Cette dernière s'appuie essentiellement sur les contraintes d'environnement mécanique, subies par chacun de ces équipements en phase de qualification. Elle est menée principalement par le Systémier sur la base de son expérience et sur la nature technologique des équipements étagères considérés. Elle est enrichie par une discussion Systémier/Equipementier, nourrie par un questionnaire technique et dépouillé en phase de négociation.

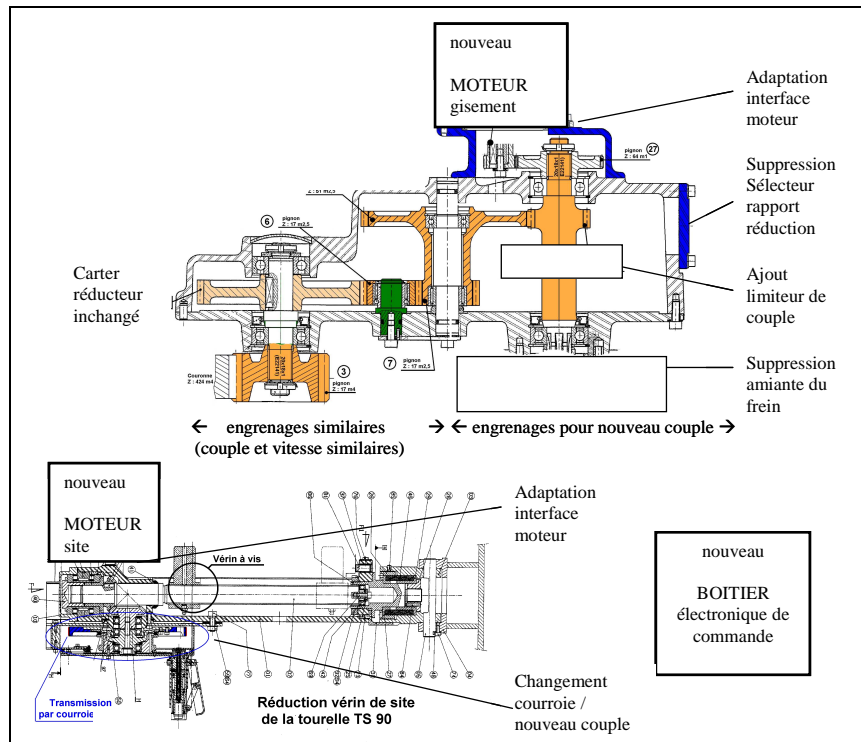


Figure 3 : Analyse de risques sous l'angle environnemental

Compte tenu de l'analyse de risques réalisée pour chacune des propositions émises par les fournisseurs, retenus au titre de l'appel d'offre, un compromis technico-économique est ensuite établi par le Systémier pour retenir la solution finale. C'est donc après avoir choisi l'Équipementier final qu'une démarche collaborative Systémier/Équipementier est mise en place pour intégrer le plus efficacement possible les équipements « sensibles », dont le niveau de qualification en environnement mécanique est jugé faible, au regard du niveau de sévérité de l'environnement réel produit par le système Tourelle à valoriser.

Pour la solution retenue, les équipements sensibles du Kit de pointage ne sont représentés que par le Boîtier de Commande, qui est conçu autour de deux cartes électroniques montés en mezzanine (Figure 4). A ce stade, on peut alors constater que sur ces cartes électroniques sont intégrés des composants électroniques (Capacités, MOS-FET,...) de masses non négligeables et soudés aux cartes époxy dans des zones de flexibilité de cartes pouvant nuire à la fiabilité mécanique des soudures de composants.

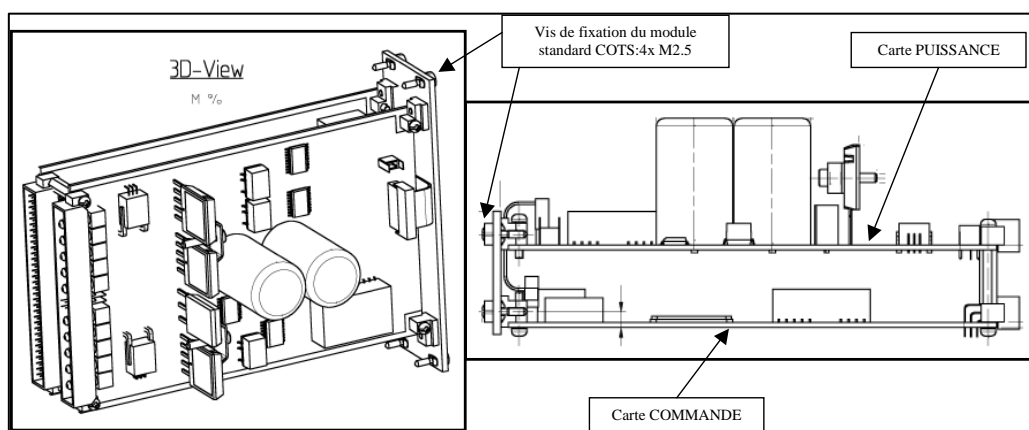


Figure 4 : Cartes Electroniques de Commande Site et Gisement

Et ce risque de défaillance est d'autant plus important que les sévérités d'environnement mécanique (vibrations et chocs), associées au DJD Expérimental de cet équipement électronique est faible vis-à-vis de l'expérience acquise par les experts de Nexter Systems, au niveau de l'environnement produit par le Tir Canon de gros calibres (90mm en l'occurrence). Les contraintes d'environnement issues du DJD Expérimental de l'équipementier sont les suivantes :

Pour les vibrations et les chocs, les sévérités sont tirées de la normalisation Américaine (MIL-STD-810F), à savoir [Rèf 1] :

- Méthode 514.5, Catégorie 20, Figure 514.5 C-4, ITOP 1-2-601 [Rèf 2], Table D-9 (modifié M113 Top), qui est une sévérité de vibration aléatoire de Type Bruit sur Bruit, représentative d'un véhicule chenillé type M113.
- Méthode 516.5, Catégorie Choc mécanique, Procédure I, qui est une sévérité de choc de type DSPF, 40g et 6ms, 3 chocs par axe et par sens pour les 3 axes.

#### 4. Démarche Collaborative Systémier/Equipementier

Compte tenu de l'expérience acquise par le Systémier dans le domaine du Tir Canon, il va de soit que le niveau de qualification de l'équipement en choc (40g-6ms-6chocs/axe) n'est pas suffisant en terme de niveau et surtout en terme de fiabilité pour répondre aux exigences de fiabilité fonctionnelle définies par la STB du Client final qui se situe au niveau de :

- 40 à 50 tirs/an sur 20 ans (sans réparation et maintenance du Boîtier)

Afin d'éclairer ce risque et de définir des actions correctives acceptables, dans un délai compatible des contraintes calendaires du Client final, une Démarche Collaborative entre Systémier et Equipementier a été mise en place [Réf 3], sous l'impulsion du groupe projet. Cette dernière est illustrée par la Figure 5 qui suit :

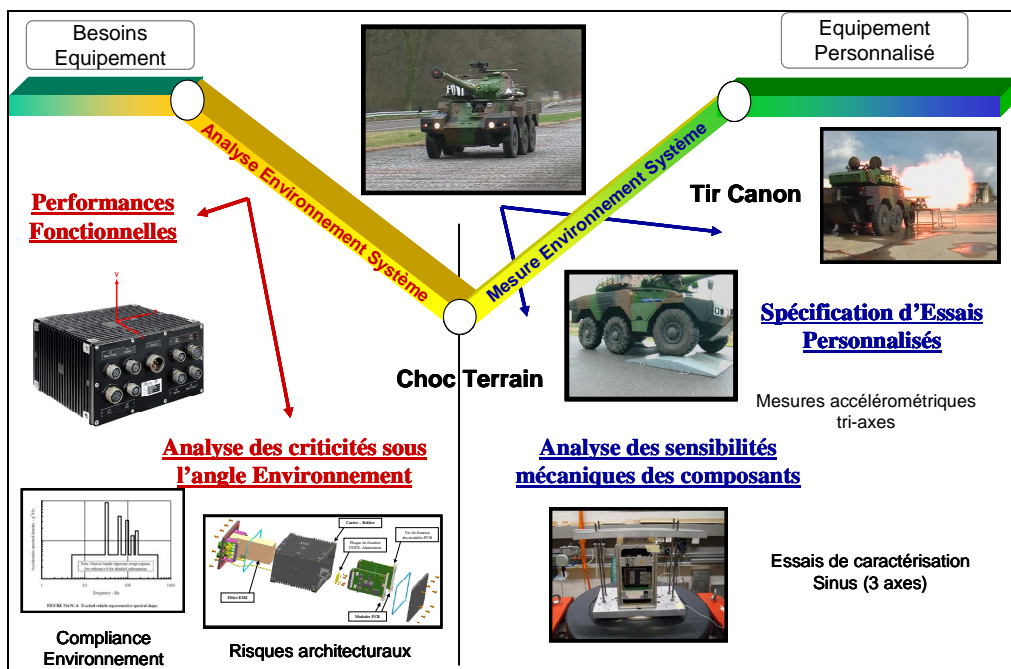


Figure 5 : Démarche Collaborative Systémier/Equipementier

Cette Démarche Collaborative est organisée autour du processus de Développement en V, classiquement déployé dans le cadre de la conception des produits d'armement ; et que l'on adapte

ici à la problématique des contrats de Revalorisation. En effet, les équipements étant choisis sur étagère, le Systémier ne possède pas la définition de ces derniers pour en analyser les criticités sous l'angle environnemental. Seul l'Équipementier est capable d'identifier ces risques ; et ceci se fait d'autant plus facilement, que cette démarche est réalisée après la phase de négociation, qui a conduit à choisir le fournisseur de la solution finale (voir Branche descendante du V : Analyse Environnement Système).

Après avoir identifié d'un commun accord entre l'Équipementier et le Systémier les risques potentiels de criticités de l'équipement « sensible », une démarche de « robustification » et d'analyse des sensibilités mécaniques de l'équipement est engagée par l'équipementier, à partir de la fourniture de sévérités d'environnement définies par le Systémier, sur la base de son expériences acquise sur les développements antérieurs (voir Branche remontante du V : Mesure Environnement Système). Pour finir, le Systémier est en charge de mesurer l'environnement réel produit par les situations opérationnelles les plus contraignantes, dans la zone d'intégration de l'équipement « sensible ». Dans le cas présent, les Situations de passages d'obstacles (mobilité en tout-terrain) et de Tirs Canon ont été identifiées comme étant les plus pertinentes à réaliser au niveau Système, pour pouvoir qualifier les reprises de conception réalisées au niveau des cartes électroniques de commande (Spécifications d'essais personnalisés).

## **5. Reprise de conception des cartes électroniques et analyse des sensibilités mécaniques des composants**

Sur la base de l'expérience acquise par les experts Environnement des Systèmes d'Armes de Nexter Systems, des essais en laboratoire sur pots vibrants et/ou machines à chocs sont réalisés pour mettre en place les mécanismes de défaillances susceptibles d'être rencontrés en utilisation opérationnelle et établis initialement dans l'analyse de risques, définie conjointement entre l'Équipementier et le Systémier. C'est donc par essais plus que par modélisations que ces mécanismes de défaillances sur l'équipement sensible (Boîtier de Commande) sont analysés et donc crédibilisés. Ce savoir faire industriel permet donc de définir localement les actions de reprises de conception ; et ceci avant même de disposer de l'environnement réel produit par les Situations opérationnelles les plus dimensionnantes pour le système d'arme revalorisé.

### **5.1 Reprise de conception des cartes électroniques**

Sans s'étendre sur le savoir faire industriel de Nexter Systems dans ce domaine, il apparaît néanmoins essentiel de bien comprendre que les mécanismes de défaillances sont établies à l'aide d'essais contractuels ciblés et définis par Nexter Systems sur la base de son expérience et de son retour d'expérience (REX) acquis sur les développements antérieurs, en matière de conception et d'intégration d'équipements de toute nature, soumis à des environnements complexes et très sévères [Rèf 4]. Ces essais définis par le Systémier sont contractualisés vers l'Équipementier qui alors réalise ou fait réaliser ces derniers en laboratoire. De cette démarche expérimentale découlent un ensemble d'actions correctives qui sont alors proposées par l'Équipementier et qui sont entérinées d'un commun accord avec le Systémier. Ces reprises de conception sont essentiellement mineures et restent à la charge de l'Équipementier.

Ce point est d'autant plus accepté par le fournisseur que ces actions correctives n'impactent en aucun cas les performances techniques de son équipement et que le caractère local des modifications structurelles sont de nature à robustifier son équipement, qui de ce fait permet d'ouvrir son panel de clients potentiels, à moindre coût. Dans le cas présent, les reprises de conception concernent (voir Figure 6) :

- rigidification des cartes époxy par l'adjonction de plaques aluminium collées,



- mise en place de systèmes CAM-LOCK permettant de maintenir un écart constant entre les cartes mezzanines et ainsi éviter les contacts entre composants des deux cartes mezzanines,
- renfort des fixations des cartes mezzanines dans leur logement par l'augmentation du diamètre des vis de fixation, situées à l'arrière des cartes et sur l'avant.

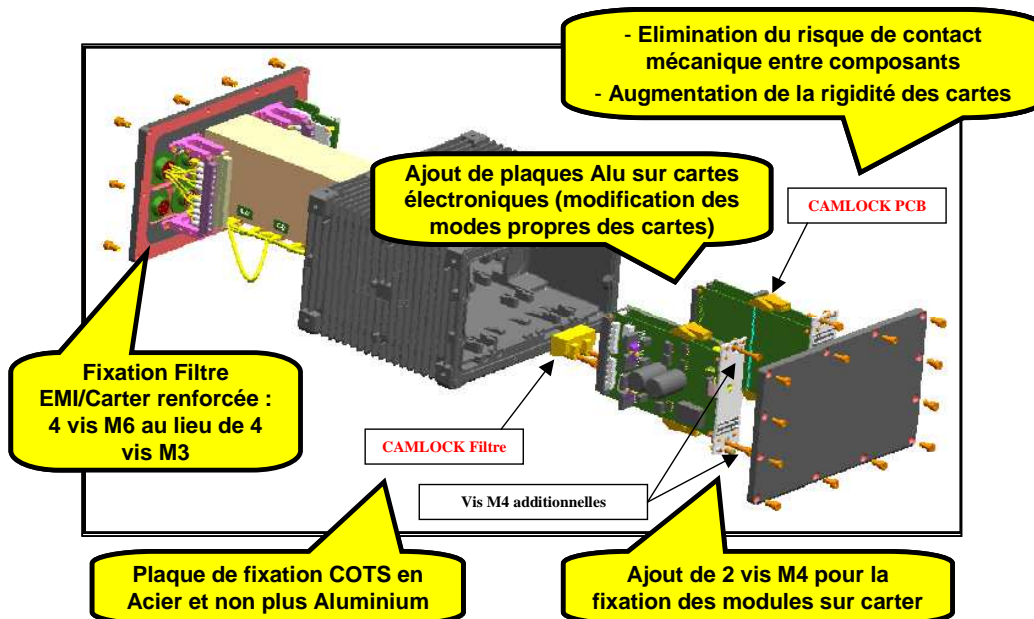


Figure 6 : Reprises de conception de l'équipement « sensible »

## 5.2 Analyse des sensibilités mécaniques des composants

Sur la base des modifications structurelles proposées par l'Équipementier et validées par le Systémier, des essais en laboratoire sur pot vibrant sont ensuite réalisés sur un équipement modifié, afin d'évaluer les nouvelles sensibilités mécaniques des composants fragiles. Ces essais restent à la charge de l'équipementier et consistent à réaliser des essais sinus balayé bas niveau (1g constant) sur chacun des trois axes. Pour ce faire, chaque composant identifié comme fragile est instrumenté à l'aide d'un capteur accélérométrique tri-axes et ceci dans un souci de définir la plage fréquentielle où apparaissent les fréquences de résonance de ces composants.

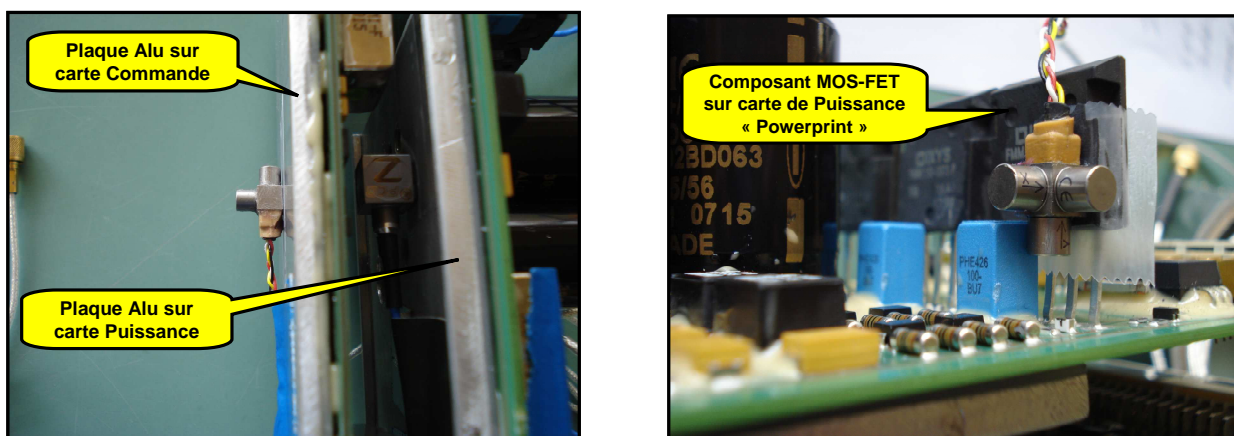


Figure 7 : Instrumentation des composants fragiles



Sur la base des mesures réalisées au cours des essais Sinus balayé bas niveau suivant les trois axes, un tableau récapitulatif des sensibilités mécaniques est établi, présentant la limite basse fréquentielle des modes résonants des composants fragiles, enrichie de leurs valeurs de surtension (Tableau 1).

Sensibilité mécanique du Boîtier Electronique de Commande du Kit Optronique		
Axe du Système Tourelle	Limite basse des fréquences de résonance (Hz)	Facteur de surtension associé aux fréquences de résonance
Axe OX (Axe Canon)	215	[3 , 5]
Axe OY (Axe Transverse Tourelle)	300	[3 , 10]
Axe OZ (Axe Vertical)	610	[10 , 40]

Tableau 1 : Sensibilités mécaniques du Boîtier Electronique de Commande

## 6. Analyse de l'Environnement Système

Comme définies précédemment les situations opérationnelles jugées dimensionnantes concernent les problématiques de passages d'obstacles et de tir canon. De ce fait ces deux situations ont fait l'objet d'essais Système réalisés respectivement sur pistes routières dotées d'APG 4 et 6 pouces et sur champ de tirs. Après exploitation des perturbations transitoires relevées dans la zone d'intégration du Boîtier de Commande, seules les perturbations de tirs constituent la sévérité d'environnement dimensionnante pour ce Boîtier électronique dont les sensibilités mécaniques sont fournies au Tableau 1 précédent. De ces considérations techniques, seule l'analyse des données mesurées sur Champ de tirs sera présentée dans ce qui suit.

Ainsi, pour balayer l'ensemble des configurations de tirs possibles du Système Tourelle, il est décidé de réaliser une dizaine de tirs en faisant varier les paramètres suivants :

- type de munitions (on prend en compte le fait que la tourelle ainsi revaloriser est capable de tirer aussi bien des munitions de type Charge Creuse BSCC que des munitions flèches OFL),
- position en Gisement de la Tourelle (12heures et 3 heures),
- position en Site de la Tourelle ( $-8^\circ$ ,  $0^\circ$ , et  $+15^\circ$ ).

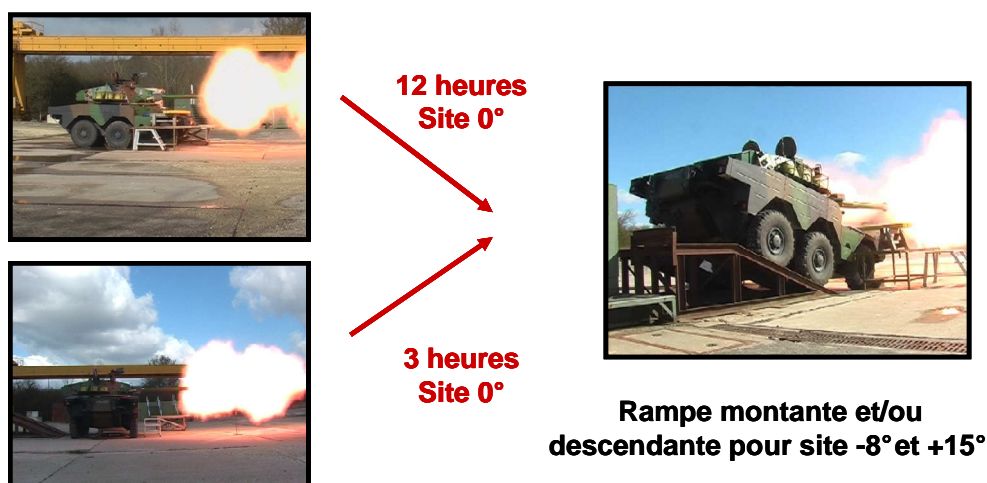


Figure 8 : Tir Canon sur Champ de tirs ETBS [Rèf 5]

## 6.1 Traitement des mesures accélérométriques « Tir Canon »

Pour l'ensemble des dix configurations de tir envisagées, les mesures transitoires relevées par l'accéléromètre tri-axe, positionné dans la zone d'intégration du Boîtier de Commande font l'objet d'un traitement systématique en SRC, après avoir validé, analysé et corrigé les signaux mesurés [Réf 6], qui possèdent assez souvent des offsets statiques et dynamiques, provenant de la chaîne de mesure et d'acquisition.

La technique de traitement en SRC (Spectre de Réponses aux Chocs) est ici retenue dans la mesure où elle permet d'évaluer très vite la sévérité du Tir Canon sur les modes résonants des composants fragiles, obtenus par l'équipementier lors de la mesure des sensibilités mécaniques de son équipement modifié (Voir Tableau 1). En effet, cette technique s'appuie sur la réponse maximale  $z_{\text{sup}}(f_0)$  générée par le transitoire de choc relevé in-situ, au travers d'un système à 1d.d.l (Figure 9), modélisant le comportement modal d'un mode résonant de l'équipement. La réponse  $z(t)$  retenue pour l'analyse en SRC correspond au déplacement relatif de la masse suspendue par rapport à sa base mobile, qui est l'image de la contrainte modale subi par le système résonant de fréquence propre :

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2.\pi} \quad \text{avec } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

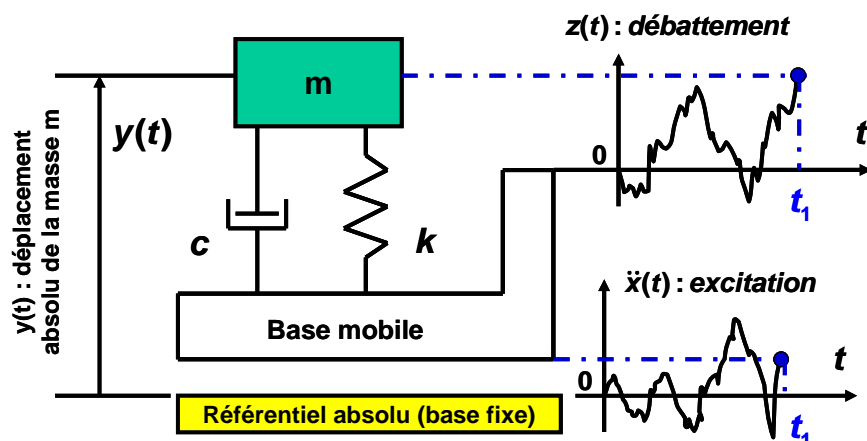


Figure 9 : Système à 1 d.d.l utilisé pour le traitement en SRC

Le calcul de la réponse  $z(t, f_0)$  du système à 1 d.d.l de fréquence propre  $f_0$  s'effectue par la technique de convolution temporelle classique, en utilisant les expressions (2) et (3) suivantes :

$$\begin{aligned} z(t, f_0) &= h_{\dot{z}}(t, f_0) * \ddot{x}(t) \quad \text{pour } t \geq 0 \\ \text{avec } h_{\dot{z}}(t) &: \text{fonction impulsionnelle du système à 1 d.d.l} \\ \text{et où le signe } * & \text{représente le produit de convolution} \\ \ddot{x}(t) &: \text{accélération relevée in-situ} \end{aligned} \quad (2)$$

Avec,

$$\begin{aligned} h_{\dot{z}}(t, f_0) &= \frac{-1}{\omega_d} \cdot e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot t} \cdot \sin[\omega_d \cdot t] \quad \text{pour } t \geq 0 \\ \text{avec } \omega_d &= \omega_0 \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \quad \text{et } \xi \leq 1, \quad \text{soit } Q = \frac{1}{2 \cdot \xi} \end{aligned} \quad (3)$$

Afin de pouvoir caractériser la sévérité des transitoires de tir sur la conception des équipements sensibles possédant plusieurs modes résonants, ce calcul de convolution temporelle est réalisé pour un ensemble de systèmes à 1d.d.l découplés, dont les fréquences propres  $f_0$  sont choisis dans une bande fréquentielle  $[f_0^{\min}, f_0^{\max}]$  couvrant les modes résonants de l'équipement sensible considéré (Voir Tableau 1). La courbe SRC est alors tracée pour chaque mesure réalisée et a pour expression :

$$SRC(f_0) = \omega_0^2 \cdot z_{\text{sup}}(f_0) \quad \text{avec } z_{\text{sup}}(f_0) = \text{Max}_{t \in [0, T]} [z(t, f_0)] \quad (4)$$

Pour l'axe longitudinal OX du Système Tourelle (Axe Canon), les résultats des SRC obtenus sont présentés à la Figure 10 qui suit, sur laquelle on place la limite basse des fréquences de résonance du Boitier de Commande modifié, obtenu expérimentalement par l'Equipementier :

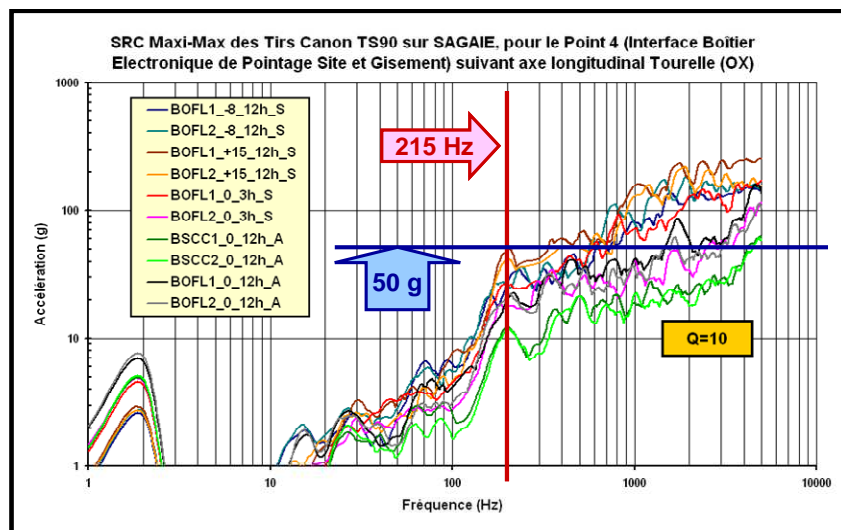


Figure 10 : SRC des transitoires de tirs relevés suivant l'axe longitudinal (OX)

On fait de même pour l'axe transversal Tourelle (OY) et l'axe vertical (OZ), ce qui conduit aux résultats des Figures 11 et 12.

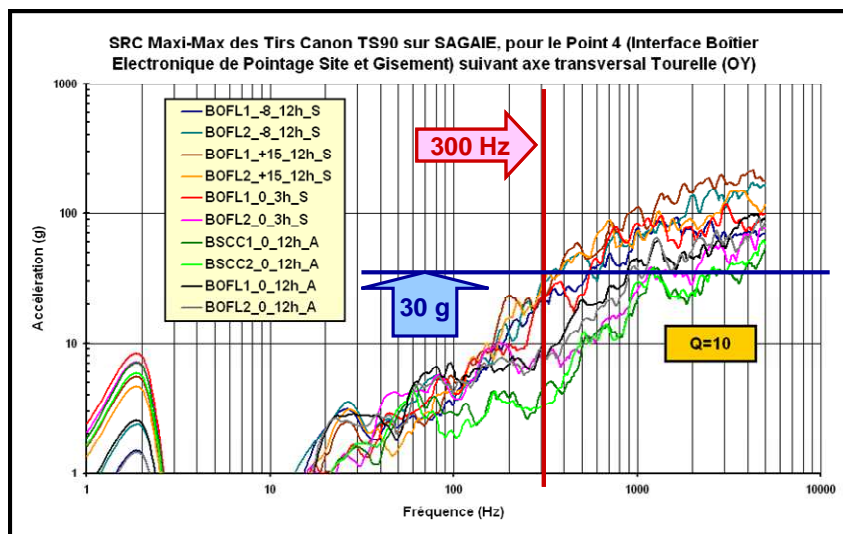


Figure 11 : SRC des transitoires de tirs relevés suivant l'axe transversal (OY)

Et,

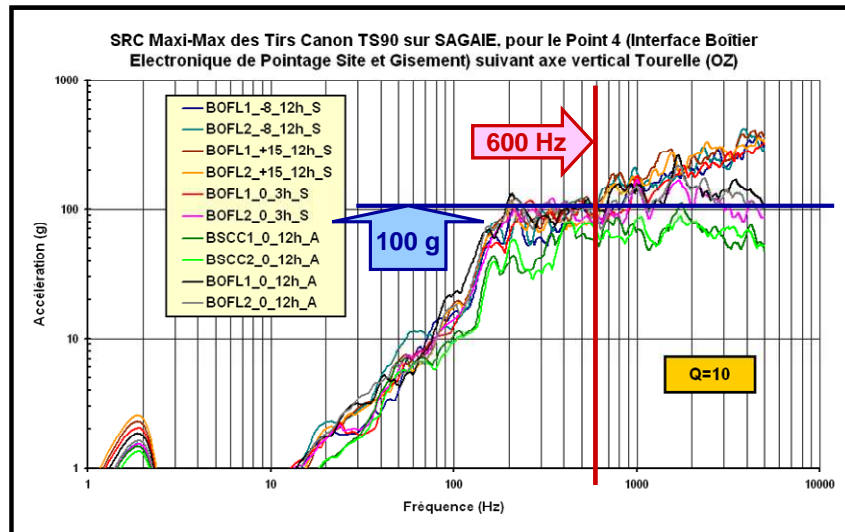


Figure 12 : SRC des transitoires de tirs relevés suivant l'axe vertical (OZ)

Compte tenu des résultats obtenus aux Figures 10, 11 et 12, on constate que l'effet pseudo-statique minimal des tirs réels se situe à 50g, 30g et 100g pour respectivement les axes OX, OY et OZ. Ceci montre combien le niveau de choc de type DSPF 40g-6ms, auquel était qualifié l'équipement initial (voir §5.2 précédent) constituait un risque de sous-dimensionnement pour le Boîtier de Commande, si ce dernier n'avait pas fait l'objet d'une reprise de conception.

### 6.2 Analyse statistique des SRC « Tir Canon »

Pour prendre en compte les exigences de fiabilité du Client final associée ici à une probabilité de défaillance  $P_0$  de  $1E-03$ , correspondant à moins d'une défaillance sur 1000 tirs réalisés pendant toute la durée de vie du produit, il est nécessaire de s'appuyer désormais sur une démarche de calcul de Coefficient de Garantie (CG) dénommé  $k$  dans ce qui suit [Réf 7].

Cette démarche de calcul du CG,  $k$ , s'appuie sur une démarche Contrainte-Résistance que l'on réalise pour chacun des trois axes, et pour chaque fréquence propre  $f_0$  de la bande fréquentielle  $[f_0^{\min}, f_0^{\max}]$ , retenue pour le calcul des SRC précédents. Pour ce faire, l'Equipementier fournit tout d'abord au Systémier le coefficient de variation  $CV_R$  de la loi, dans laquelle se situe la résistance de son équipement sensible. Le Systémier calcule ensuite, sur la base des SRC estimés pour chacun des trois axes et pour chaque fréquence propre  $f_0$ , le coefficient de variation  $CV_E$  de l'environnement produit par le Tir Canon.

Ainsi sur la base du calcul du  $CV_E(f_0)$  et de la donnée de  $CV_R$ , qui est ici fixé à 0,08 par le fournisseur, il est possible dévaluer le CG,  $k(f_0)$ , dont l'expression est définie comme suit, dans le cas de lois lognormales.

$$k(f_0) = \exp \left[ \operatorname{aerf} \cdot \sqrt{\ln \left[ (1 + CV_E^2(f_0)) \cdot (1 + CV_R^2) \right]} - \ln \left[ \sqrt{\frac{1 + CV_E^2(f_0)}{1 + CV_R^2}} \right] \right] \quad (5)$$

avec  $\operatorname{aerf} = \operatorname{erf}^{-1} \left( \frac{1}{2} - P_0 \right)$  et  $\operatorname{erf}(x) = \int_{t=0}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt$

Pour les trois axes de sollicitation (OX), (OY) et (OZ) et pour l'ensemble des fréquences propres considérées, les Coefficients de Garantie (CG) des trois axes sont calculés, afin de pouvoir en affecté les valeurs moyennes des SRC calculés, comme présenté aux Figures 13,14 et 15 qui suivent.

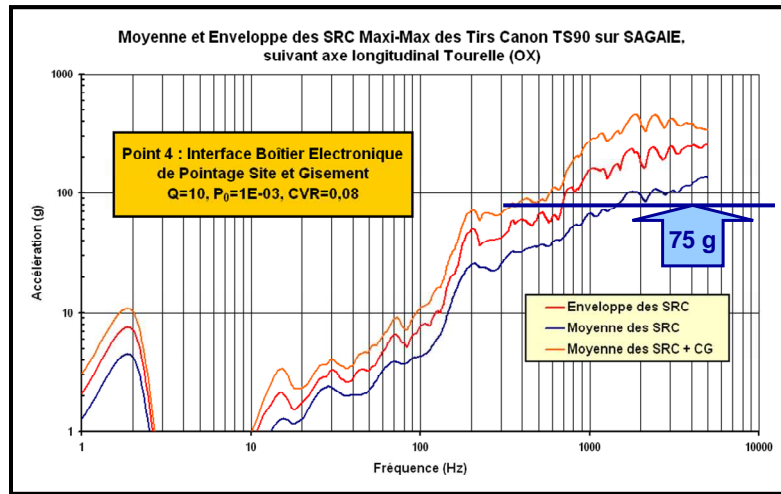


Figure 13 : SRC moyen affecté de son CG pour l'axe longitudinal (OX)

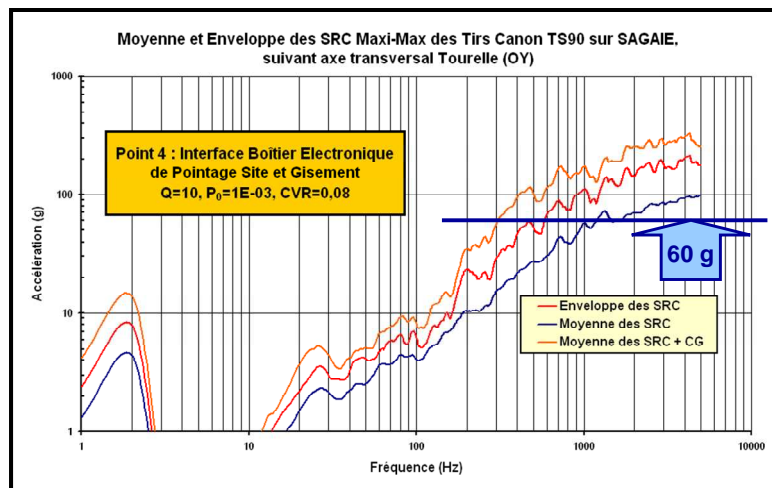


Figure 14 : SRC moyen affecté de son CG pour l'axe transversal (OY)

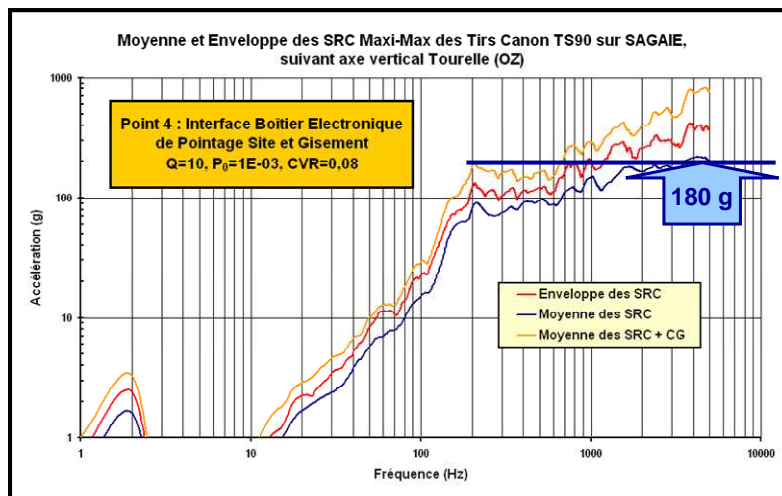


Figure 15 : SRC moyen affecté de son CG pour l'axe vertical (OZ)

Compte tenu des résultats obtenus aux Figures 13, 14 et 15, on constate que l'effet pseudo-statique minimal des tirs réels se situe désormais à 75g, 60g et 180g pour respectivement les axes OX, OY et OZ, en prenant en compte la probabilité de défaillance du Client final. Ces résultats sont donc de nature à crédibiliser les reprises de conception engagées sur le Boîtier de Commande par l'Equipementier, en s'appuyant sur la Démarche Collaborative Systémier/Equipementier définie au §4 précédent.

## 7. Qualification de l'équipement sensible modifié

Pour finir, il ne reste plus qu'à qualifier les reprises de conception, engagées sur le Boîtier de Commande par l'Equipementier. Pour cela, on établit une spécification d'essai Choc sur la base des techniques de « retour inverse » développées par Giat industries dans le cadre des développements Leclerc et 10RC Rénové [Rèf 8], qui permettent de s'appuyer sur les valeurs de SRC, ainsi que sur les paramètres globaux des transitoires de tirs définies en termes de variation de vitesse et d'énergie. Ainsi sur la base des valeurs de SRC contenues dans la bande des modes résonants du Boîtier situés dans l'intervalle  $[f_0^{\min} = 200\text{Hz}, f_0^{\max} = 900\text{Hz}]$  et sur les caractéristiques pyrotechniques des transitoires de tir calculées sur chaque mesure obtenue, il est possible d'établir les spécifications d'essais Chocs tri-axes suivantes, sur la base de Sinusoïdes Amorties décalées.

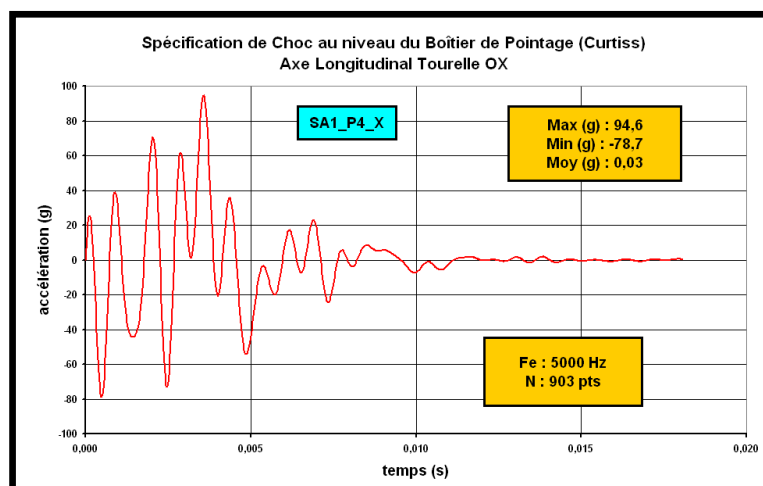


Figure 16 : Spécification de Choc pour l'axe longitudinal (OX)

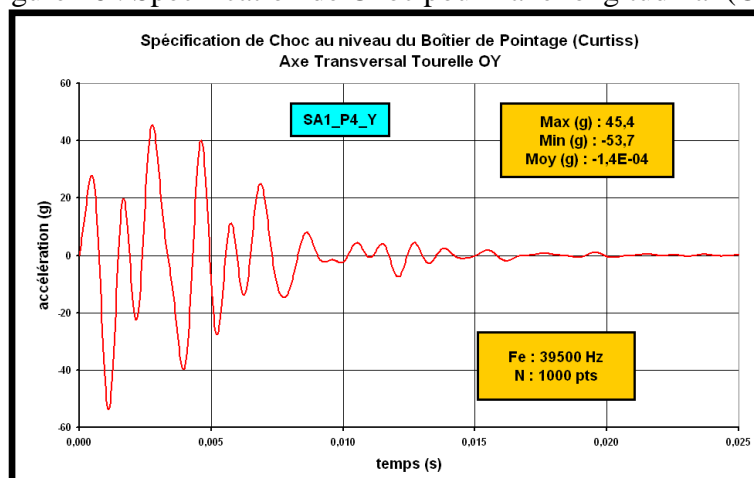


Figure 17 : Spécification de Choc pour l'axe transversal (OY)



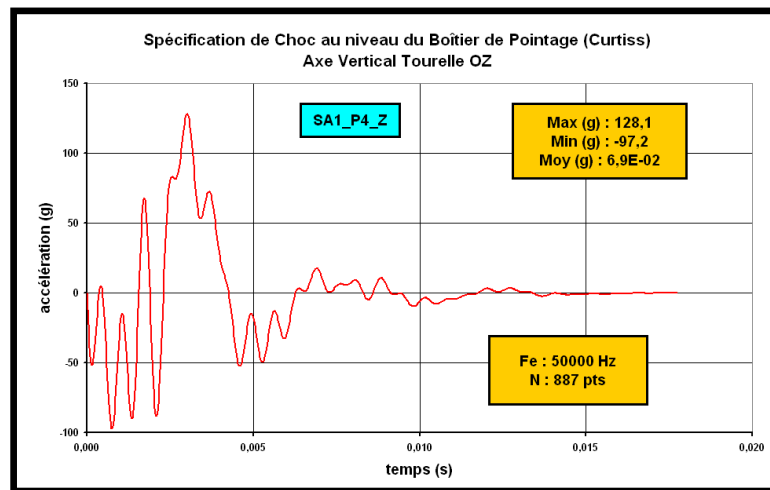


Figure 18 : Spécification de Choc pour l'axe vertical (OZ)

## 8. Conclusion

La qualification au choc s'étant déroulé sans incident en laboratoire, le Boîtier de Commande modifié et ainsi qualifié, a été monté sur le système Tourelle pour subir une campagne de tirs de validation fonctionnelle. Les performances de pointage en Site et Gisement ont donné toute satisfaction, ce qui a conduit à prononcer la qualification globale du Système rénové.



Figure 19 : Validation des performances fonctionnelles du Système de Pointage

En conclusion, il ressort que cette Démarche Collaborative Systémier/Equipementier, qui se distingue d'une démarche purement contractuelle, est une solution à envisager dès l'instant où un risque de défaillance réel est identifié au stade de la négociation et du choix du fournisseur, nécessitant une reprise de conception sur un équipement étagère dudit fournisseur.

Le risque s'établit sur l'expérience acquise par le Systémier au cours des développements antérieurs, qui dans le domaine de la maîtrise de l'environnement des systèmes complexes, est issu du monde expérimental plus que de celui issu du monde de la simulation numérique des systèmes, surtout dans le cas des phénomènes pyrotechniques de type Tir Canon gros calibres, comme ceux présentés dans le cadre de cet article.

## Références

- [1] : MIL-STD-810F, Environmental engineering considerations and Laboratory Tests, January 2000.
- [2] : ITOP 1-2-601, Laboratory Vibration Schedules, 23 April 1998.
- [3] : B. Colin, « Intégration d'équipements électroniques sensibles soumis aux chocs canon gros calibre », Journée Thématique sur les Chocs de l'ASTE, Intespace Toulouse, 4 Juin 2009.
- [4] : Appel d'offre LRBA S0123, Etude et recherche de lois d'endommagement par fatigue utilisées dans le cadre de la démarche de personnalisation en environnement mécanique, Lots 1, 2 et 6, Novembre 2000.
- [5] : ETBS, Portail de l'Armement : Essais sur les Champs de tirs, [www.ixarm.com](http://www.ixarm.com)
- [6] : DGA : « Guide d'application de la démarche de personnalisation en environnement mécanique », Contrat de Normalisation NORM/06, Mars 2006.
- [7] : GAM-EG-13, Annexe Générale Mécanique, Chapitre 8, Coefficient de Garantie et Facteur d'essai, Mars 2003.
- [8] : B. Colin, « Outil de génération de chocs pyrotechniques par méthodes mixtes fréquentielles et temporelles », Rapport technique DSB/345/99, Giat Industries, Novembre 1999.