

NRTW 2025

National Reliability Technology Workshop

Mercredi 19 et Jeudi 20 mars 2025 | GANIL – Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

Munitions intelligentes tirées au canon

Intégration des systèmes électroniques embarqués

J.Pavier^(a,b) L. Reynard (a)



(a)



(b)

Organisé par :



Développement des munitions « intelligentes » tirées au canon

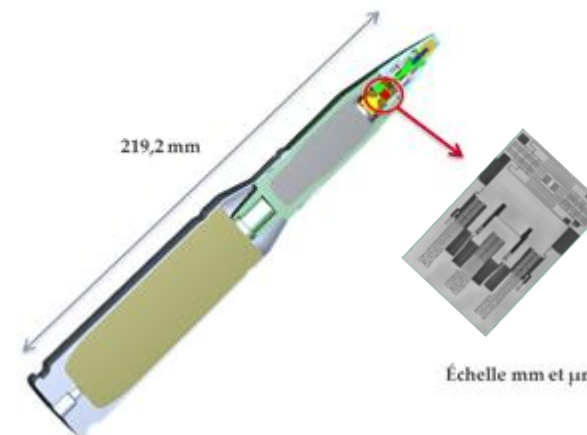
Une rupture technologique initiée dans les années 90

Intégration de systèmes électroniques dans des projectiles tirés au canon

- ✓ Fusées multimodes miniaturisées
Artillerie/Cavalerie/Moyen calibre
- ✓ Munitions pilotées-guidées tirées en canon de 155 mm



Katana cal 155mm



Organisé par :



Assurer la survie et le fonctionnement de ces sous-systèmes dans nos environnements opérationnels

Un enjeu majeur pour la maîtrise des coûts et délais de programmes sous fortes contraintes techniques et économiques



Mise en place d'études :

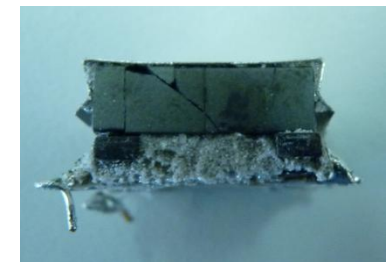
Axe « environnement »

Comprendre, caractériser et spécifier les environnements opérationnels

Développer les moyens d'essais d'environnement

Axe « composants-systèmes électroniques »

Identifier et comprendre les mécanismes d'endommagement ou de défaillance des composants et systèmes électroniques et pyrotechniques



Organisé par :



Une électronique particulière pour des environnements particuliers

Cycle de vie :

- ✓ Les munitions sont stockées 30 à 40 ans dans les forces
- ✓ La durée de fonctionnement varie de quelques secondes à quelques min (vol balistique)

Gamme de température :

- ✓ Gamme de température fonctionnelle : -55°C à 120 °C
- ✓ Gamme de température de stockage : -46°C à +71°C

Chocs / Chutes :

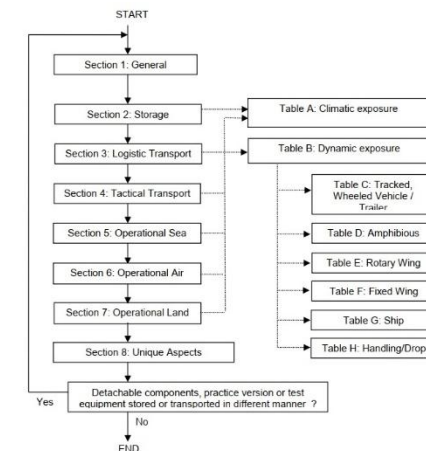
- ✓ Chutes de munitions de 1,5m, chocs en arme, chocs de mise à poste, chocs pyrotechniques, catapultage, ...

Coup canon :

- ✓ Les accélérations varie de 15 000 g à 120 000 g et la rotation des munitions peut atteindre 100 000 tr/min

Environnements électromagnétiques :

- ✓ Environnements radio radar extrêmes, décharges électrostatiques, foudre, impulsion nucléaire, ...



Organisé par :



Une électronique hyper contrainte

Volume :

- ✓ Le volume interne d'une fusée de moyen calibre conduit à un carte électronique de diamètre inférieur à 12mm

Energie :

- ✓ L'énergie disponible dans les fusées de moyen calibre est très limité (quelques milliampère sous 2,4V pendant 10ms)
- ✓ Des piles spécifiques existent pour les fusées d'artillerie (pile amorçable) et les fusées de missiles (pile thermique)

Coût :

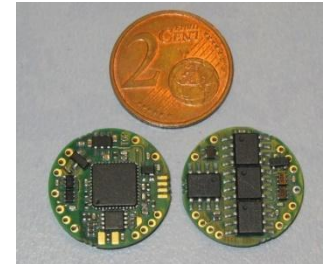
- ✓ Le coût de la carte électronique, de la source d'énergie doit être cohérent avec le coût des munitions soit inférieur à quelques dizaines d'euros

Contrainte d'exportation :

- ✓ Besoin de composants sans contrainte d'exportation en privilégiant les sources françaises voir européenne

Obsolescence :

- ✓ Les obsolescences nécessitent des compléments de qualification très coûteux



Organisé par :



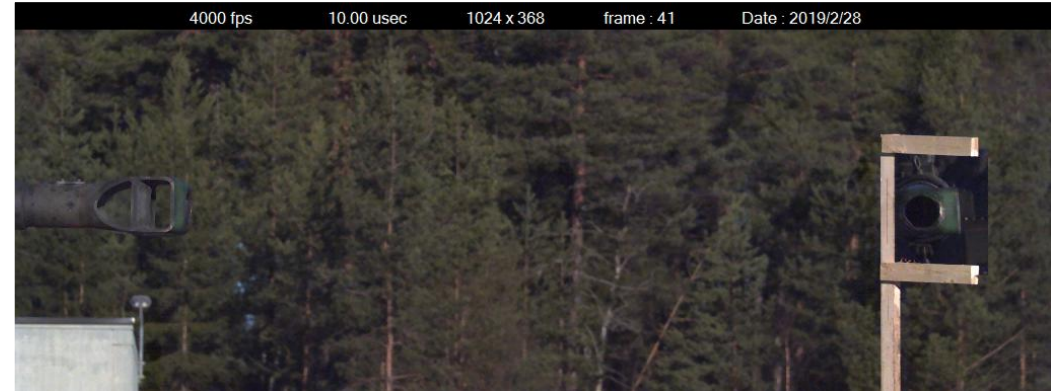


Environnements dynamiques opérationnels

Mise à poste



Balistique intérieure et intermédiaire



Balistique terminale



Time = 0
Contours of Effective Stress (v-m)
max IP, value
min=0, at elem# 30001
max=14.1704, at elem# 104710

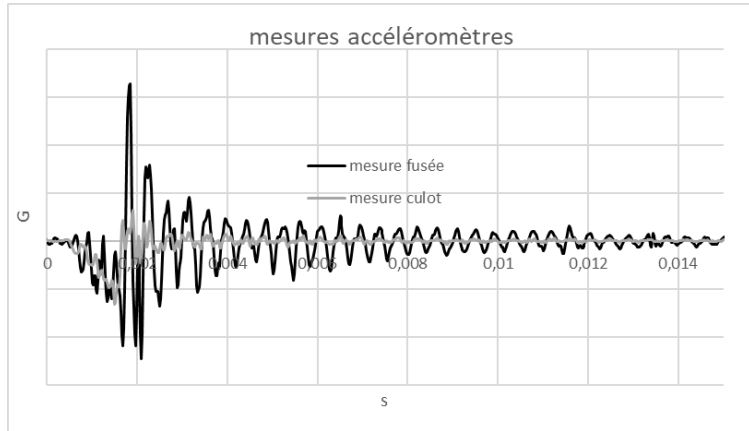


Fringe Levels
1.800e+02
1.710e+02
1.620e+02
1.530e+02
1.440e+02
1.350e+02
1.260e+02
1.170e+02
1.080e+02
9.900e+01
9.000e+01
8.100e+01
7.200e+01
6.300e+01
5.400e+01
4.500e+01
3.600e+01
2.700e+01
1.800e+01
9.000e+00
0.000e+00

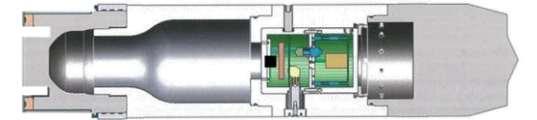
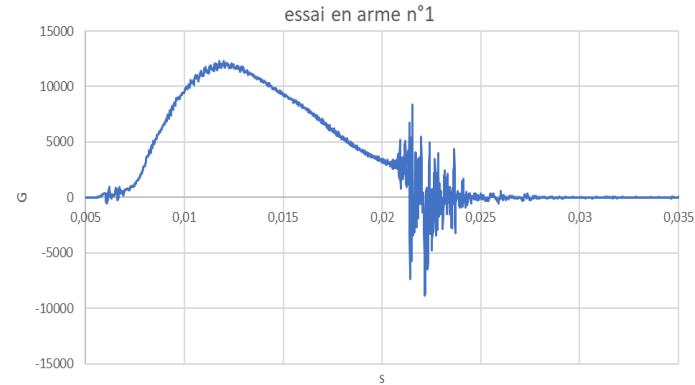
Organisé par :



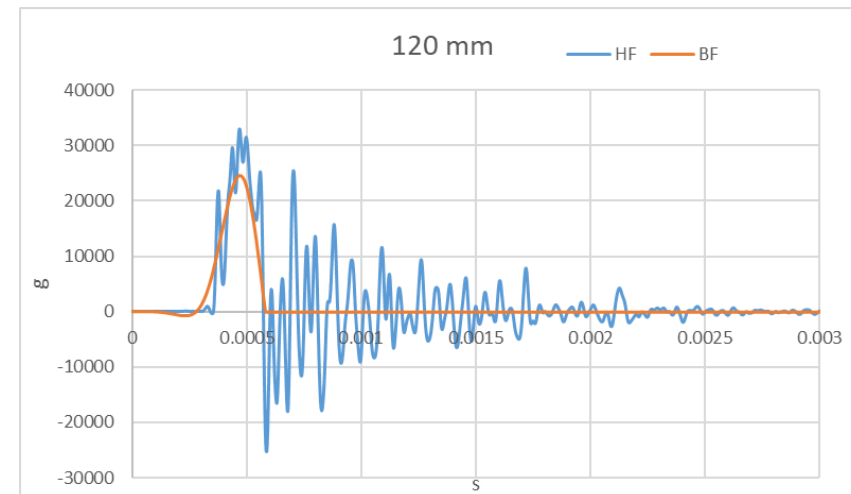
Mise à poste



Balistique intérieure et intermédiaire



Balistique terminale



Organisé par :

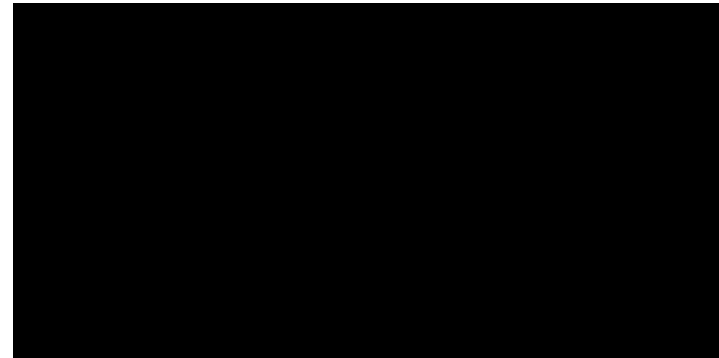
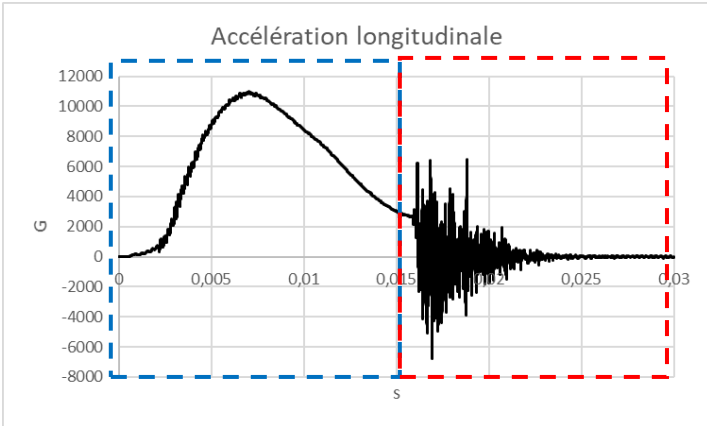
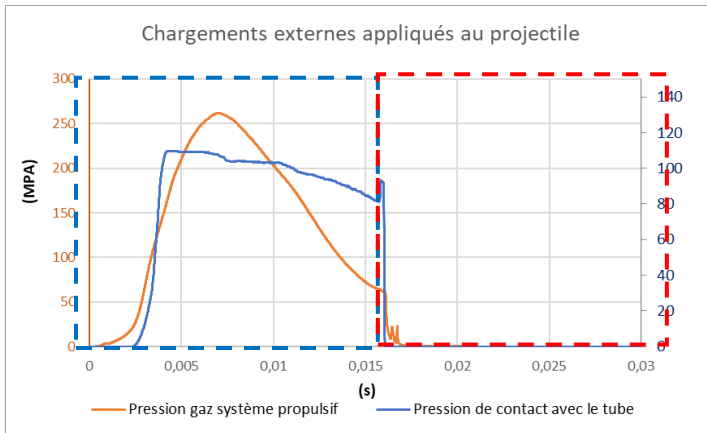


Balistique intérieure et intermédiaire

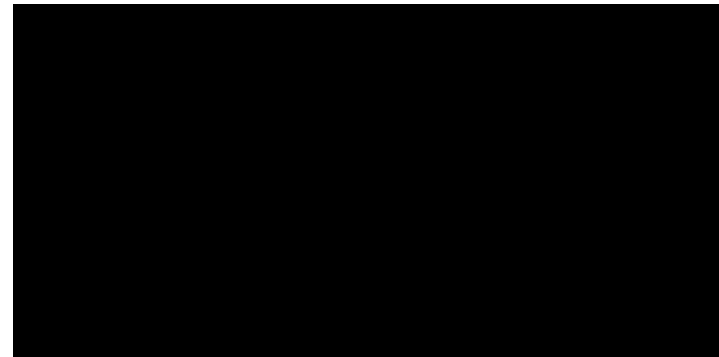
intérieure

intermédiaire

Balistique intérieure

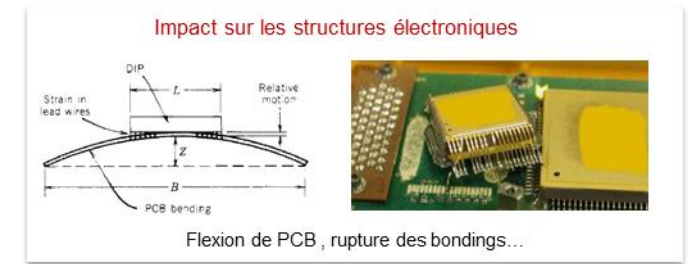


Balistique intermédiaire

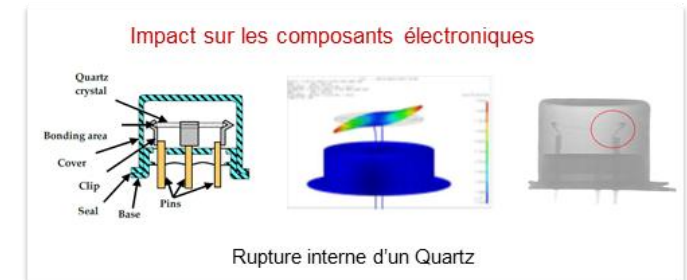


Accélération « pseudo-statique »

- ✓ Fréquence d'excitation < mode 1 de la structure (2Khz)
- ✓ Le corps d'obus est un support rigide qui impose une accélération au sous-système électronique
- ✓ Cet environnement est calculable par les codes de BI et facilement mesurable



Choc de relaxation



- ✓ Fréquence d'excitation > mode 1 de la structure (2 kHz)
- ✓ Environnement de type choc pyrotechnique
 - Local
 - Faible contenu impulsionnel (vitesse)
 - Fortes amplitudes grande plage d'excitation

Organisé par :

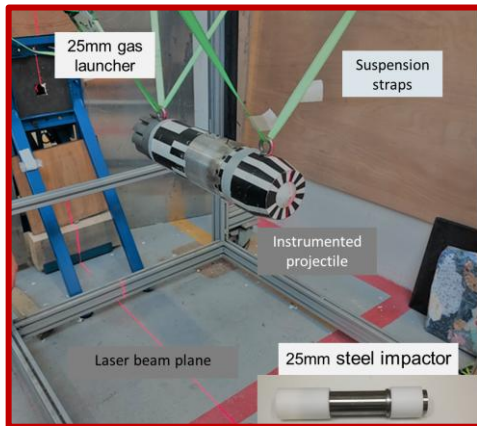


échelle « sous-système »

Accélération 1/2 sinus



Chocs « classe pyrotechnique »

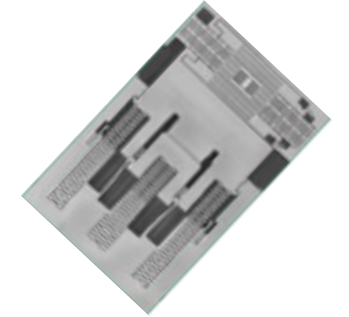


Organisé par :



échelle « composant »

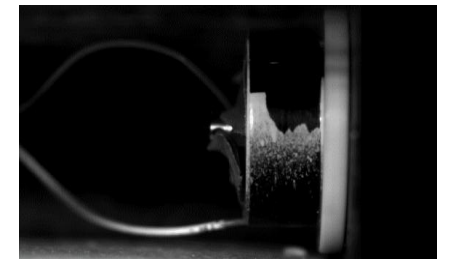
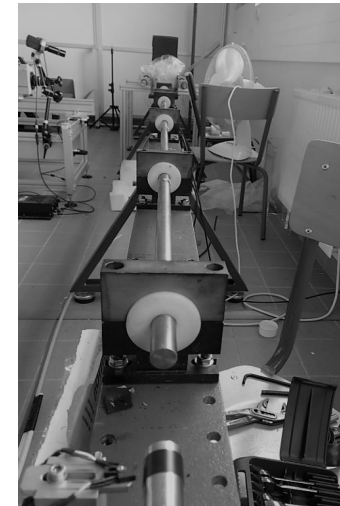
Accélération constante (centrifuge)



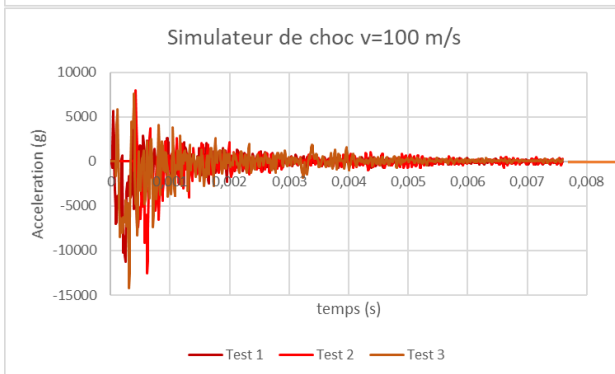
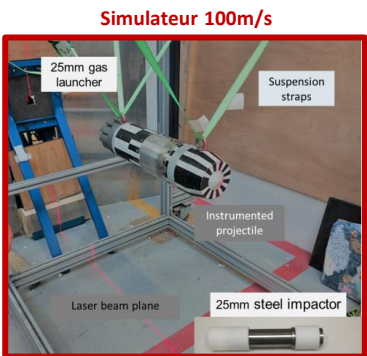
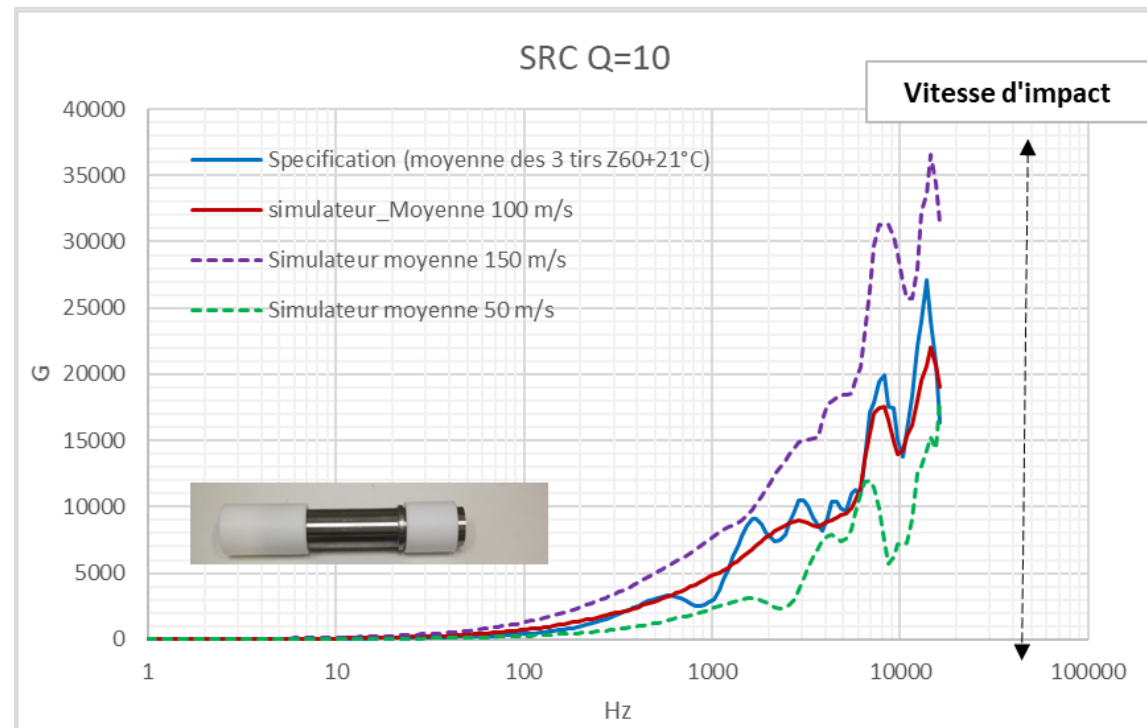
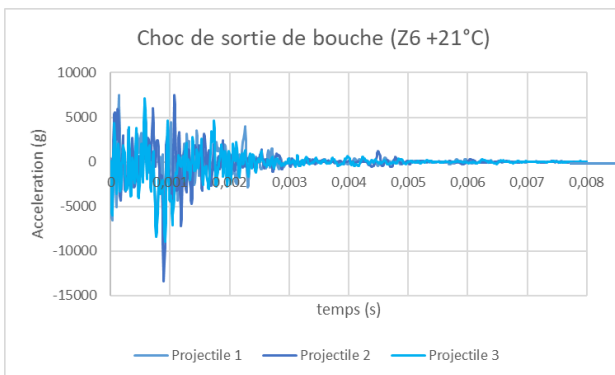
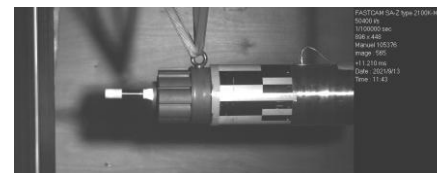
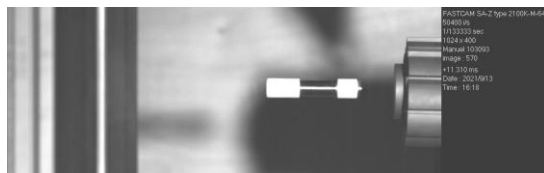
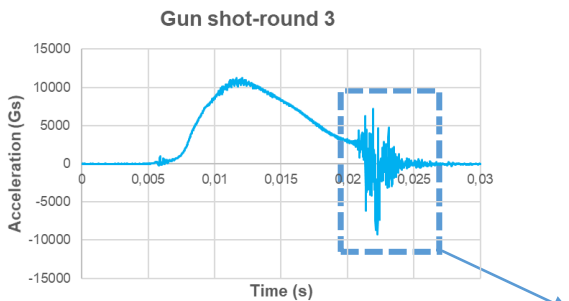
Objectifs :

- Stresser les systèmes électroniques
- Identifier les mécanismes d'endommagement et de défaillance
- Vérifier les détections d'environnement

Accélération Barre de Hopkinson



Essais d'environnement chocs de bouche

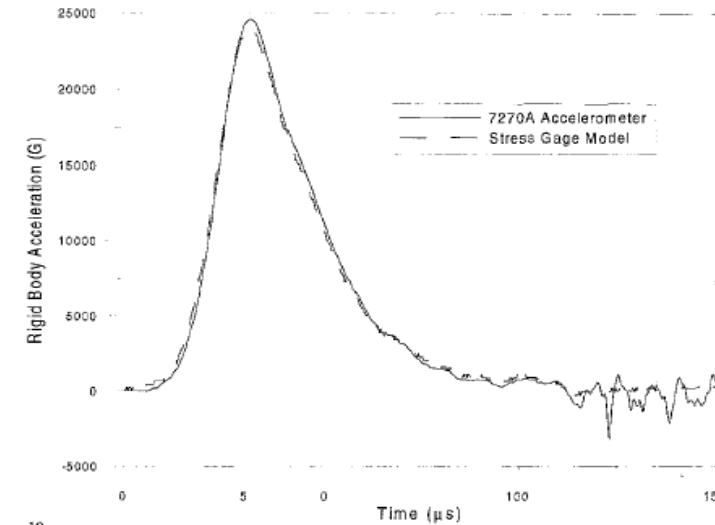
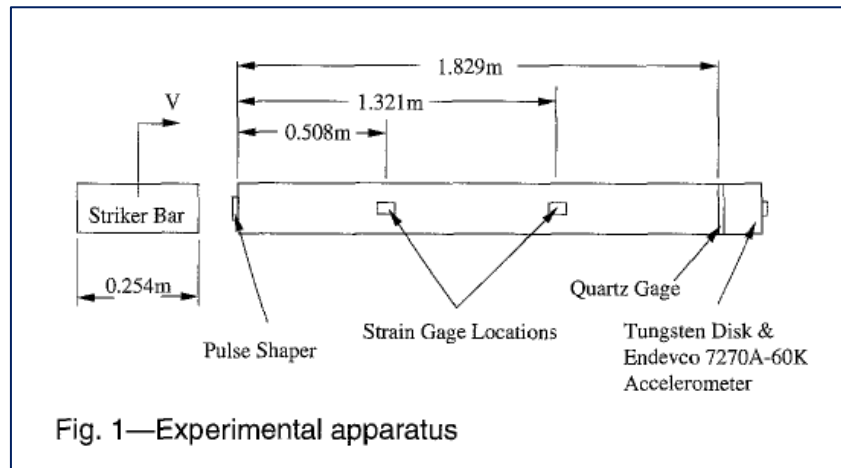


[1] J.Pavier "Experimental and numerical study of the dynamic response of gun launched projectile during muzzle exit: Development of a laboratory scale muzzle exit shock simulator" Proceedings of 33th International Symposium on Ballistics 2023 »

Organisé par :



Dispositif utilisé dans l'étude de la réponse des accéléromètres pour mesure de chocs en environnement « sévères »



[2] T.C Togami, W.E Baker, M.J Forestal, A split hopkinson bar technique to evaluate the performance of accelerometers Journal of applied mechanics 63/2,353-356 1996

[3] M.J. Forrestal, T.C. Togami, W.E. Baker, and D.J. Frew « Performance Evaluation of Accelerometers Used for Penetration Experiments, » Society for Experimental Mechanics 2003

[4] Dr. Adriane G. Moura, MEMS Shock Accelerometer Characterization for High-g Applications-63rd Annual NDIA Fuze Conference August 4-5, 2020 (Air Force Lab)

[5] Vesta I. Bateman, Proven Sensor Performance for Emerging Shock Environments- www.SandV.com DYNAMIC TESTING REFERENCE ISSUE

[6] Anthony Agnello, PCB Piezotronics "Causes of Zero Offset in Acceleration Data Acquired While Measuring Severe Shock »-PCB

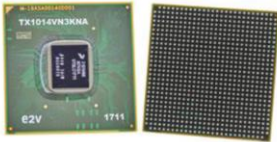
Organisé par :



Dispositif utilisé dans l'étude du comportement de composants électroniques

Flip Chip technology survivability to High G Environment
Te2v +Thiot

Daniel Peairs, Method to Evaluate High-g Component Susceptibility 2018 NDIA Fuze Conference
San Diego, CA (L3 Defense Electronic Systems)



- Acceleration range

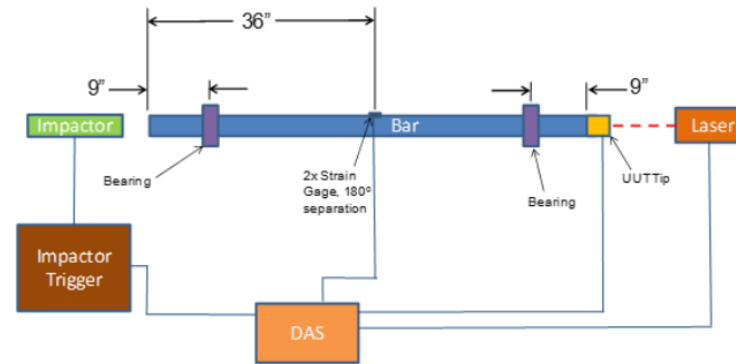
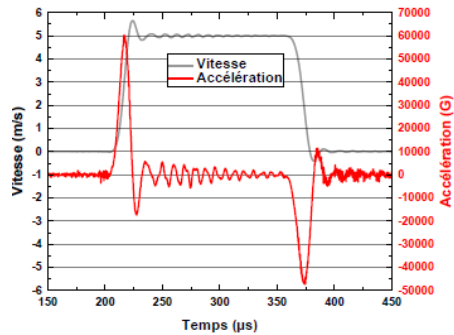
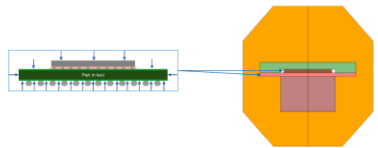
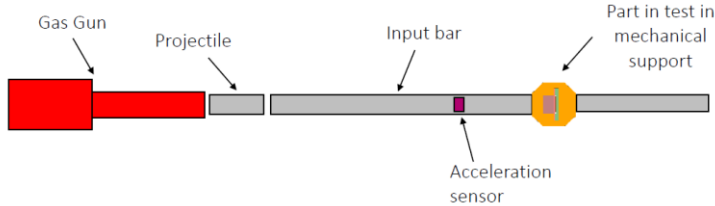
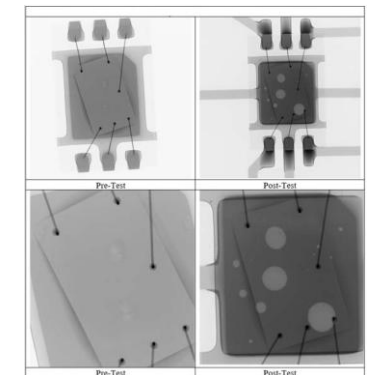
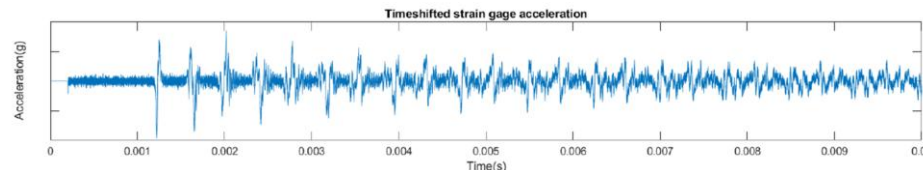
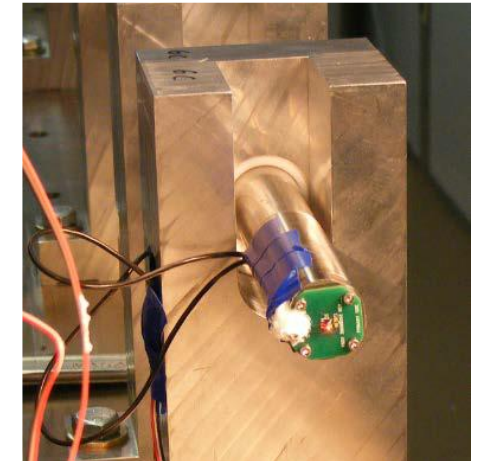


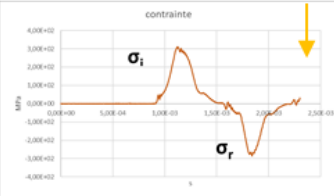
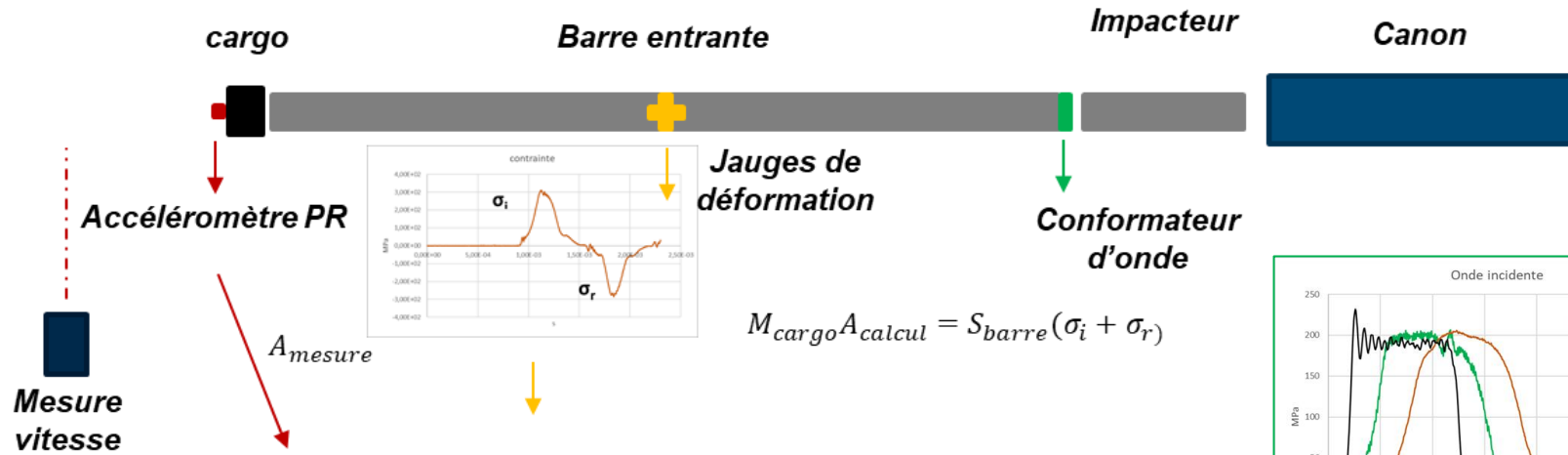
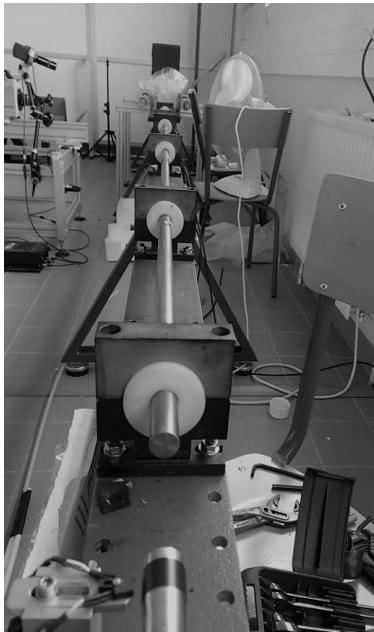
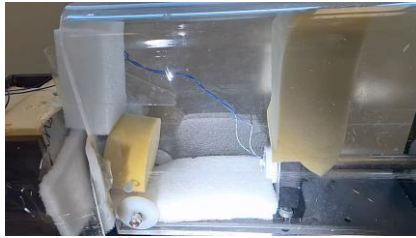
Figure 3. General Test Layout



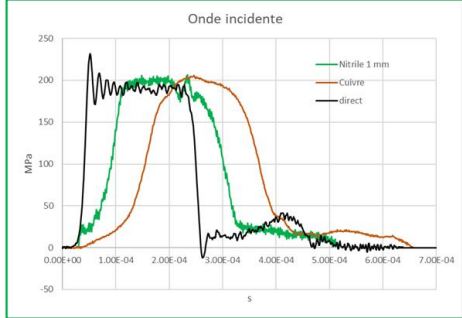
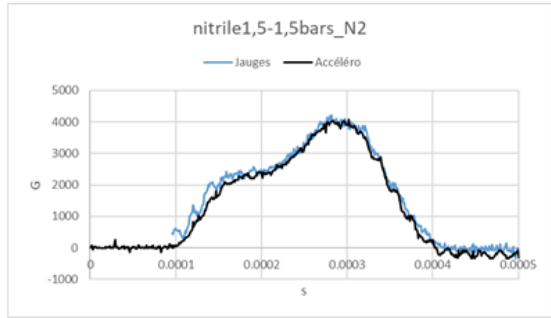
Organisé par :



Essai d'accélération Barres de Hopkinson



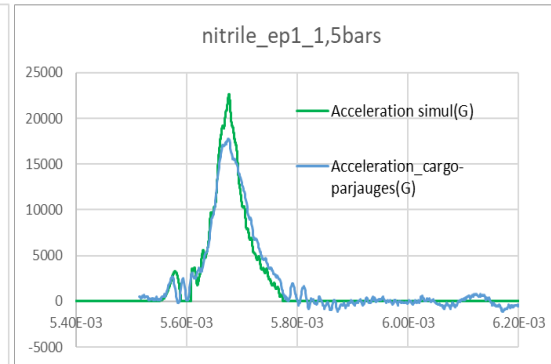
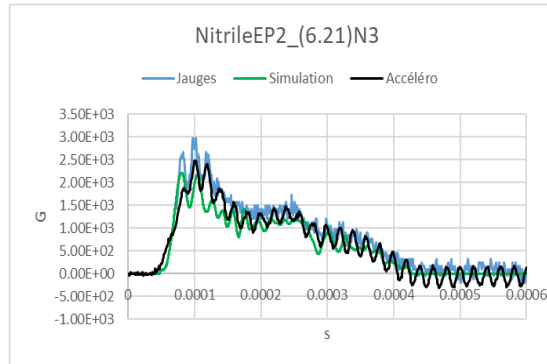
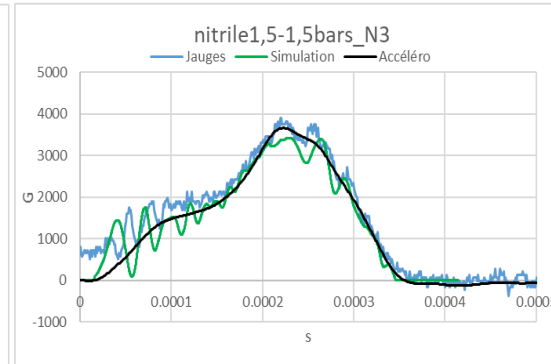
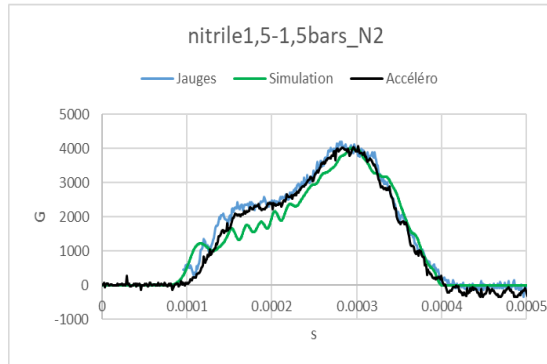
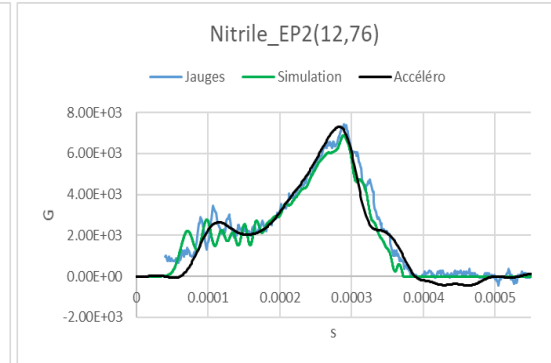
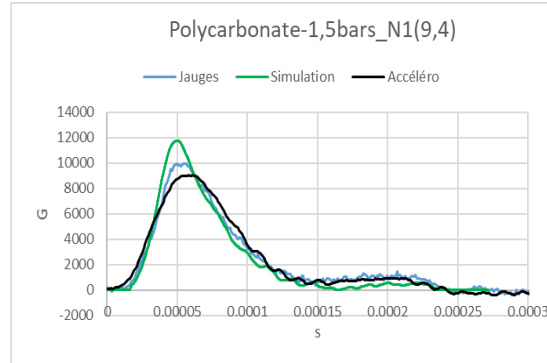
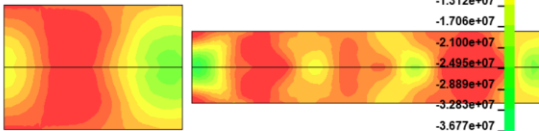
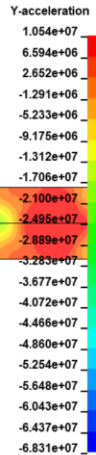
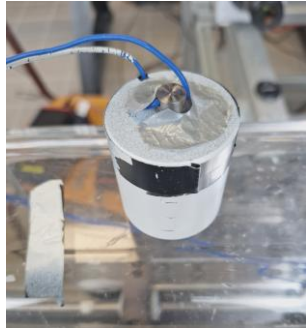
$$M_{carga} A_{calcul} = S_{barre} (\sigma_i + \sigma_r)$$



Organisé par :



Essai d'accélération Barres de Hopkinson



Essais sur composants
planifiés en 2025

Organisé par :



Intégration des sous-systèmes électroniques dans les projectiles tirés au canon

- Mise en place d'une démarche de compréhension, caractérisation et spécification des environnements munitionnaires au niveau des systèmes électroniques embarqués.
- Développement en cours de moyens d'essais permettant de soumettre des sous-ensembles électroniques à des environnements dynamiques de type accélération et chocs de classe pyrotechnique.
- A partir de ces moyens, les travaux futurs porteront sur l'étude de la réponse locale des systèmes électroniques résinés pour améliorer la compréhension des modes de sollicitation, de réponse et d'endommagement des structures et composants électroniques.

Organisé par :



NRTW 2025

National Reliability Technology Workshop

Mercredi 19 et Jeudi 20 mars 2025 | GANIL – Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

merci pour votre écoute !

Organisé par :

