

# Salsa<sup>2</sup> : susceptibilité de l'électronique automobile face à une agression de type leurre

Nicolas Picard<sup>1</sup>, Joël Andrieu<sup>1</sup>, Bruno Beillard<sup>1</sup>, Jean-Christophe Joly<sup>2</sup>, Edson Martinod<sup>1</sup>, Serge Mazen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>XLIM, UMR CNRS N°6172, 123 ave Albert Thomas, 87060 Limoges <sup>2</sup>CEA, DAM, 46500 Gramat

[nicolas.picard@xlim.fr](mailto:nicolas.picard@xlim.fr), [jean-christophe.joly@cea.fr](mailto:jean-christophe.joly@cea.fr)

**Résumé** – Le projet ANR SALSAS<sup>2</sup> initié et piloté par le CEA-Gramat a pour objectif la conception d'un démonstrateur technologique capable d'arrêter un véhicule à l'aide d'un faisceau électromagnétique. Ce papier s'attache plus particulièrement à décrire les phénomènes de perturbation de l'électronique automobile et d'en caractériser les composants non-linéaires.

## 1. Introduction

Suite aux attentats du 11 septembre 2001 puis ceux de Madrid en 2004 a émergé un concept de sécurité global visant la protection des infrastructures critiques, contre le terrorisme et la criminalité. Dans ce contexte, un besoin a été exprimé par les forces de polices pour appréhender des individus se déplaçant dans des véhicules de grosses cylindrées et impliqués dans divers trafics. Si la faisabilité d'arrêter un véhicule à l'aide d'un faisceau électromagnétique n'est plus à démontrer [1], de nombreuses contraintes sont liées à une utilisation sur le terrain opérationnel notamment sur les aspects d'encombrement de la source microonde. Dans cette optique, il s'agit de réaliser un système optimisé et compact suivant un scénario prédéfini (approche péage, poursuite). Depuis 2008, le laboratoire Xlim s'est vu confié par l'intermédiaire de contrats avec la DGA et le CEA-Gramat, l'étude de la susceptibilité de l'électronique automobile face à une illumination électromagnétique. Puis en 2011, le projet ANR SALSAS<sup>2</sup> (Système AgiLe de Suivi et d'Arrêt d'Automobiles) a vu le jour, proposant la création d'un démonstrateur technologique. De nombreux systèmes similaires ont été mis au point à travers le monde [2][3] mais utilisent des puissances EM très importantes (de l'ordre du MW crête) en se concentrant sur des attaques Ultra Large Bande (ULB) de forts niveaux. SALSAS<sup>2</sup> se distingue par une approche dite "leurre" qui ne nécessite pas de fort niveau mais des temps d'expositions assez conséquent (de l'ordre de la seconde) contrairement aux dispositifs existants dont on peut assimiler l'attaque par un "flash" sur l'électronique (impulsion de l'ordre de la  $\mu$ s).

## 2. Concept leurre

Le concept d'attaque leurre repose sur un principe très simple : le calculateur d'une automobile, centre

névralgique de commande du moteur, a besoin d'une multitude d'informations en provenance de ses capteurs pour fonctionner. Il suffit de les perturber pour entraver le bon fonctionnement du moteur. Cela impose une bonne connaissance de l'électronique automobile et de son fonctionnement pour perturber le système dans sa bande de fonctionnement (<100 kHz). Ce type d'attaque révèle l'avantage d'utiliser de faibles niveaux de champs nécessaire à l'observation de phénomènes de démodulation. La figure 1 expose les moyens d'agressions de l'électronique au regard de leur puissance et de leurs effets sur la cible. On distingue ainsi de l'attaque leurre, les illuminations de type "flash" faisant intervenir des niveaux de champs importants et pouvant occasionner une destruction de l'électronique.

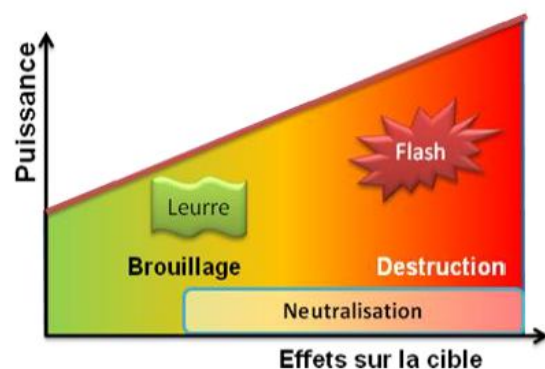


Fig.1 – Agression EM de l'électronique

Lors de l'illumination d'un véhicule par une onde radar (1-10 GHz) figure 2, l'onde se couple à un toron reliant deux composants communicants et par effet de démodulation, altère le signal qui y transite. Il en résulte

un signal brouillé dont l'interprétation par le calculateur, peut conduire à un mode dégradé ou à un arrêt moteur.

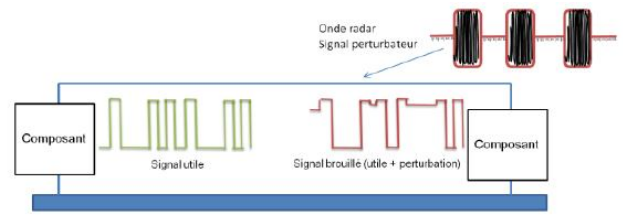


Fig.2 – Synopsis d'une agression EM

### 3. Phénomènes de détection d'enveloppe

Les perturbations observées sont liées à des phénomènes de démodulations au sein des composants non linéaire (NL) présents dans l'électronique des véhicules [4][5][6]. Il s'agit en particulier des dispositifs de protection présents en entrée d'un CI ou des capteurs 18<sup>èmes</sup> Journées Nationales Microondes, 15-16-17 Mai 2013 - Paris qui sont assimilés à des circuits détecteurs d'enveloppe (figure 3).

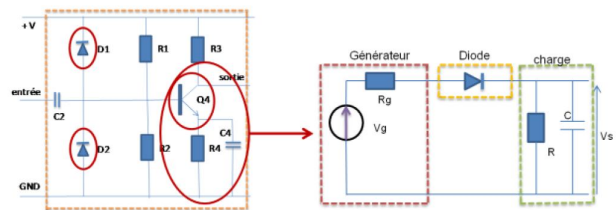


Fig.3 – Eléments non-linéaires et représentation équivalente

Leurs caractéristiques non linéaires permettent de transformer une perturbation dite "Out-band" vers une perturbation "In-Band" qui est la bande de fonctionnement du système. La figure 4 en illustre le principe.

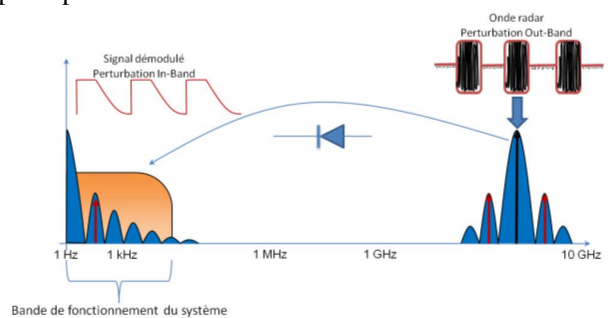


Fig.4 – Principe de l'effet Out-Band vers In-Band

Si des phénomènes de démodulation sont observés, ils sont difficiles à prévoir car ils dépendent du niveau et des fréquences des signaux d'entrée et de leurs paramètres physiques. La constitution interne de ces composants étant inconnus et propres à l'industrie automobile (pour des raisons concurrentielles), il est impossible d'obtenir ces paramètres pour les exploiter.

#### 4. Approche boîte noire et caractérisation d'élément NL

Dans une optique de compréhension et de description du phénomène, une approche dite "boîte noire" est menée pour caractériser les éléments NL et les intégrer dans un moteur de simulation transitoire (type Spice). Une première analyse tension-courant permet de mettre en évidence la présence d'élément NL figure 5.

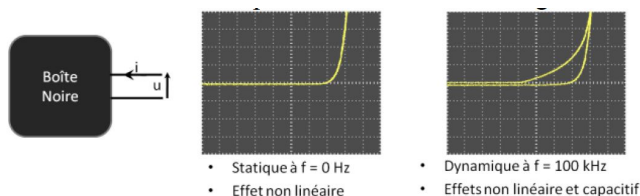


Fig.5 – Analyse U/I et caractéristiques non linéaires

Il s'agit ensuite de réaliser un ensemble de mesures visant à déterminer les paramètres intrinsèques de ces composants en les rattachant à un modèle de composant NL élémentaire : la diode. Celle-ci intègre un grand nombre de paramètres caractérisant son comportement dans Spice. Cela concerne aussi bien son seuil, sa capacité de jonction que son temps de transit.

Le peu de littérature sur le comportement des diodes au delà du gigahertz ne permet pas de conclure sur le domaine de validité du modèle actuel. Dans un premier temps, sont expliqués les phénomènes de démodulations avec le modèle existant et dans un second temps ce dernier est modifié en corrigeant les relations fondamentales décrivant la jonction PN pour retrouver les observations en HF. Actuellement, les recherches font état de certains défauts lorsque les périodes des signaux d'excitation (GHz) sont très proches des constantes de temps intrinsèques à la diode (capacité de jonction et temps de transit). A cela s'ajoute la difficulté d'exploiter un modèle grand signal sur une caractéristique fortement non linéaire.

L'ensemble de ces travaux permettent de mieux appréhender les mécanismes liés à la démodulation d'une porteuse HF et d'optimiser les signaux d'attaques (niveaux et fréquences) pour obtenir la meilleure efficacité de perturbation de l'électronique automobile.

#### 5. Application SALSA<sup>2</sup>

Si la maîtrise des paramètres de la forme d'onde n'est peut être pas optimale, des essais menés sur des véhicules ont permis de déterminer des bandes de susceptibilité de l'électronique. Sur la dizaine de véhicules testés, les caractéristiques des signaux d'agressions sont sous la forme d'impulsions de type radar.

Les signaux d'agressions dépendent de nombreux paramètres liés à la nature des matériaux et à la géométrie du véhicule. A cela s'ajoutent les couplages des ondes sur les torons et les résonances fonction de leurs longueurs qui en découlent. La figure 6 permet de visualiser le synopsis d'une attaque EM sur un véhicule, sous la forme d'une succession d'étapes, que subit l'onde avant de réussir à perturber l'électronique. On remarque notamment la présence de filtres.

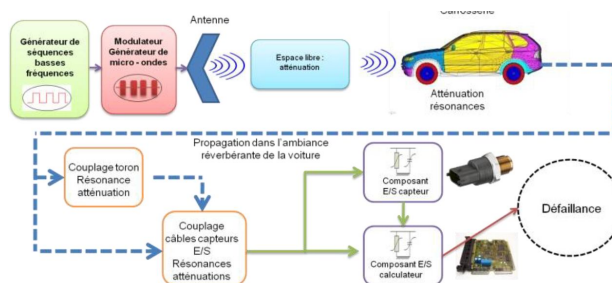


Fig.6 – Bilan de liaison d'une attaque EM sur un véhicule

#### 6. Perspectives

Les travaux s'orienteront principalement sur deux axes. Le premier s'attachera à décrire et caractériser les éléments NL jusqu'à 10 GHz dans l'optique de réussir à reproduire la chaîne d'agression dans sa totalité sous une forme de simulation numérique. Le second concernera la réalisation du démonstrateur SALSA<sup>2</sup>.

#### 7. Remerciements

Le projet SALSA<sup>2</sup> est soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche, le Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives de Gramat, et de la Police Nationale (STSI<sup>2</sup>).

Les partenaires sont : CEA-Gramat, XLIM ; CISTEME, ITHPP, GRSG

Une partie des travaux menés par CISTEME est aussi financée par la Direction Générale à l'Armement sous la forme d'une convention CIFRE Défense.

## 8. Bibliographie

- [1] S. Mazen, "*Susceptibilité des systèmes électroniques automobiles soumis à une illumination électromagnétique*", Thèse de doctorat, Université de Limoges, Faculté des sciences et techniques, 2011.
- [2] Eureka Aerospace, "*High-Power Compact Microwave Source for Vehicle Immobilization*", National Institute of Justice, 2006.
- [3] K. Hong, S. Braidwood, "*Stopping car engines using high power electromagnetic pulses*", Electromagnetics in Advanced Applications, p 378 – 381, 2010.
- [4] J. Rodgers, T. Firestone, V. Granatstein, "*Susceptibility of circuits and systems to HPM pulses*", Internal report, Maryland University, 2008.
- [5] F. Sonnemann, J. Bohl, "*Susceptibility and Vulnerability of Semiconductor Components and Circuits against HPM*", URSI, Diehl Foundation, 2002.
- [6] B. Ben M'Hamed, "*Contribution à l'analyse de la susceptibilité des composants électroniques à des perturbations transitoires : Caractérisation et modélisation des éléments de protection*", Thèse de doctorat, Université de Limoges, Faculté des sciences et techniques, 2010.