

Analyse de la variabilité des chargements de fatigue dans l'automobile et influence sur les prévisions de fiabilité

W.FAURIAT^{a,b}, C.MATTRAND^b, N.GAYTON^b, A.BEAKOU^b

a. Renault, Technocentre Renault, 78280 Guyancourt, France
william.fauriat@ifma.com

b. IFMA, Institut Pascal, UMR 6602 UBP/CNRS/IFMA, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France

Résumé :

Les différents composants des véhicules sont soumis à une grande diversité de chargements de fatigue. Pour tous les constructeurs automobile, l'acquisition d'informations relatives à ces chargements implique de recourir à des campagnes de mesures. Ces dernières sont longues et coûteuses, ce qui amène naturellement à limiter la taille des échantillons collectés. Différentes hypothèses sont appliquées afin d'extrapoler à partir d'un nombre limité de mesures, une description mathématique de la variabilité des chargements, suffisamment représentative de la vie des véhicules au sein d'une population de clients. L'objectif de l'étude présentée est de montrer que le choix du traitement statistique appliqué aux données de chargements collectées a une influence forte sur toute prévision de la fiabilité.

Mots clés : Variabilité des chargements, Fiabilité prévisionnelle, Fatigue, Profil de mission

1 Introduction

Afin de s'assurer que les composants d'un véhicule sont conformes aux objectifs de fiabilité qui leur sont imposés, la conception de ces derniers doit être adaptée à la grande diversité de chargements de fatigue qu'ils sont susceptibles de rencontrer au sein d'une population de client. Il est donc important, que ce soit pour réaliser la conception ou pour émettre une estimation prévisionnelle de la fiabilité, de disposer d'une description statistique représentative de la variabilité des chargements.

Dans le but de simplifier le problème d'estimation, la vie d'un véhicule est souvent divisée en un ensemble de situations élémentaires, voir [1, 2, 3], pour lesquelles la variabilité du chargement de fatigue est plus réduite et peut être estimée par la mesure. Par exemple, les chargements subis par le véhicule en ville ou sur l'autoroute seront de nature différente. Chaque client a ensuite un usage particulier de son véhicule, ce qui revient à attribuer un pourcentage du kilométrage total à chacune de ces situations élémentaires.

En pratique, plusieurs mesures sont réalisées afin de capter la variabilité intrinsèque à chaque situation élémentaire. Une grandeur scalaire représentative du chargement mesuré est ensuite utilisée pour décrire cette variabilité. Cette valeur, ou pseudo-dommage, voir [3], est généralement obtenue suite à un

comptage de cycles Rainflow combiné à la loi de cumul de Miner et à un modèle d'endommagement (Basquin). D'autre part, un échantillon de clients est interrogé par sondage, relativement à l'usage de leur véhicule, c'est-à-dire à la répartition entre chaque situation élémentaire.

Les deux sources de données sont combinées afin de construire un échantillon représentatif des chargements imposés aux véhicules, tout au long de leur vie, au sein de la population de clients. Les hypothèses statistiques qui sous-tendent le traitement appliqué en pratique aux données, ont une influence forte sur la description de la variabilité des chargements obtenue *in fine* et par suite, sur toute prévision de fiabilité. La discussion proposée par [4] précise cette problématique.

2 Traitement statistique des données de mesure et d'enquête

La campagne de mesures considérée pour l'étude fait intervenir 15 situations élémentaires définies par 5 catégories de routes, à savoir, ville, route hors ville, autoroute, route de montage et piste non goudronnée, ainsi que 3 niveaux de charge embarquée dans le véhicule, à savoir, à vide, demi charge et pleine charge. 7 circuits de 50 km sont sélectionnés pour chaque catégorie de route et différents conducteurs (4 par circuit) réalisent les mesures, pour les 3 différents cas de charge. Pour chaque mesure, les signaux temporels d'accélération des masses suspendues et non-suspendues, servent au calcul d'une valeur de pseudo-dommage, traduisant la sévérité de l'excitation verticale imposée au véhicule. Cette grandeur scalaire doit être vue comme un outil permettant de quantifier la variabilité des chargements. Un sondage regroupant 2000 réponses permet d'acquérir de l'information sur la proportion de la vie du véhicule passée dans chaque situation élémentaire, pour différents clients.

Tout d'abord, il convient de se demander si l'information collectée en mesure est suffisante pour quantifier la variabilité intrinsèque propre à chaque situation élémentaire. Le nombre de points de mesure ($7 \times 4 = 28$) est en réalité assez réduit compte tenu de la diversité des surfaces de route et du style de conduite des clients. Une première hypothèse statistique consiste à inférer un modèle paramétrique pour chaque situation élémentaire (par exemple log-normal) afin de permettre une certaine "extrapolation" à des réalisations non-observés. Le même schéma statistique peut être appliqué aux résultats de données d'enquête. Une forme paramétrique, multi-variée, peut être proposée pour décrire la variabilité de l'usage client. La figure 1 illustre la comparaison entre les données brutes et des échantillons simulés à partir des modèles paramétriques identifiés, pour chacune des 15 situations élémentaires. Les diagrammes en boîte sont ici affichés pour proposer une visualisation simple de la dispersion des données. Grâce à ces modèles statistiques, la taille des échantillons construits peut être augmentée, dans le but d'évaluer la fiabilité par simulation de Monte-Carlo par exemple. Cependant ce choix de modèles n'est pas neutre sur l'estimation prévisionnelle de la fiabilité.

D'autre part, chaque résultat de mesure correspond en fait à une fraction très réduite de la vie du véhicule, à savoir 50 km. Il convient, en fonction de l'horizon de fiabilité considéré (par exemple 200000km), d'extrapoler les valeurs d'endommagement vers des kilométrages plus importants, à savoir, quelques milliers à quelques dizaines de milliers de kilomètres. Une seconde hypothèse doit donc être appliquée ici. Deux schéma extrêmes peuvent être considérés. L'utilisation d'une simple règle de proportionnalité, implique que, pour une situation élémentaire donnée, sur chaque section de 50 km composant la vie de son véhicule, un client donné engendre le même endommagement. A l'inverse, on peut considérer que l'endommagement sur chaque section de 50 km est une réalisation aléatoire de la distribution intrinsèque à la situation élémentaire. En réalité, il est peut probable que pour un client donné, la dépendance en

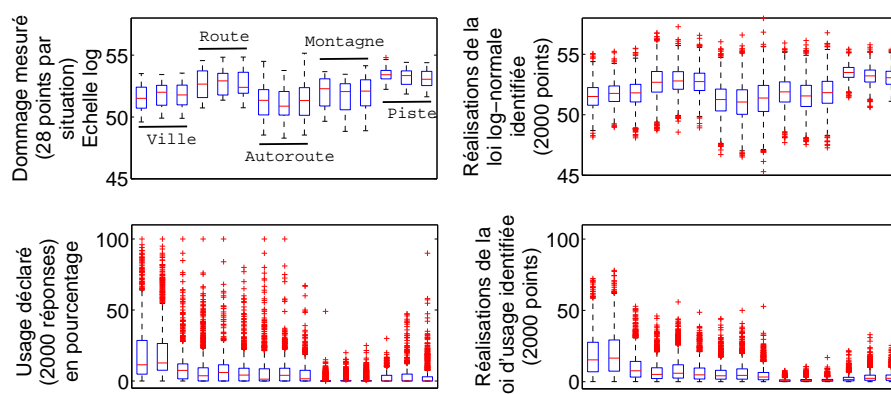


FIGURE 1 – Distribution du critère de pseudo-dommage (en haut) par situation élémentaire (15 au total) et de l’usage des véhicules (en bas). Comparaison entre les données mesurées et déclarées (à gauche) et les données générées aléatoirement à partir des modèles paramétriques identifiés (à droite). Le rectangle bleu positionne les quantiles 25% et 75% de l’échantillon, la médiane est donnée par le trait rouge, les points rouges sont situés à plus de 1.5 fois l’écart interquartile.

termes d’endommagement entre chaque section parcourue, ne soit ni totalement nulle, ni complète. La population de clients évoluera en pratique entre ces situations extrêmes.

3 Estimation prévisionnelle de fiabilité

Les différents choix de modèles statistiques inférés à partir des données collectées sont nécessaires pour réaliser des prévisions de fiabilité. Cependant, chaque choix est délicat car le volume de données à disposition est nécessairement réduit et la diversité des chargements élémentaires et des usages est grande. L’impact de ces choix sur la prévision de fiabilité est illustré dans cette étude, à partir des données présentées précédemment. Une approche contrainte-résistance à deux paramètres scalaires, voir [1, 3], est employée. La résistance est fixée par rapport à une distribution de contrainte de référence, afin de garantir une probabilité de défaillance cible.

Pour une distribution de résistance donnée, l’impact des différentes hypothèses statistiques est directement apprécié par la comparaison des probabilités de défaillances obtenues. Le calcul de fiabilité est réalisé par simulation de Monte-Carlo ainsi que par un calcul analytique exacte, à partir d’un modèle paramétrique (log-normal) identifié pour la variabilité du chargement (après extrapolation et mixage). Il convient de noter que l’imposition d’un modèle paramétrique particulier peut engendrer des écarts importants quant à l’estimation de fiabilité, si les valeurs présentes dans les queues de la distribution des chargements sont mal représentées [4].

Références

- [1] J.J. Thomas, G. Perroud, A. Bignonnet, and D. Monnet. Fatigue design and reliability in the automotive industry. *Fatigue Design and Reliability*, Vol23 :p1–11, 1999.

- [2] P Heuler and H Klätschke. Generation and use of standardised load spectra and load–time histories. *International Journal of Fatigue*, 27(8) :974–990, 2005.
- [3] Pär Johannesson and Michael Speckert. *Guide to load analysis for durability in vehicle engineering*. John Wiley & Sons, 2013.
- [4] Thomas Svensson and Pär Johannesson. Reliable fatigue design, by rigid rules, by magic or by enlightened engineering. *Procedia Engineering*, 66 :12–25, 2013.