



HAL
open science

Lien et impact des paramètres de l'objectif sur le plan de validation de fiabilité - Exemple de la validation d'un cache bagage

Rémi Laronde, Caroline RAMUS SERMENT, Bertrand Regis, Wael Younes, Moustafa Lachgar, Lavanya Bonvin

► To cite this version:

Rémi Laronde, Caroline RAMUS SERMENT, Bertrand Regis, Wael Younes, Moustafa Lachgar, et al.. Lien et impact des paramètres de l'objectif sur le plan de validation de fiabilité - Exemple de la validation d'un cache bagage. Congrès Lambda Mu 23 " Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable " - 23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2022, Paris Saclay, France. hal-03878018

HAL Id: hal-03878018

<https://hal.science/hal-03878018>

Submitted on 29 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Lien et impact des paramètres de l'objectif sur le plan de validation de fiabilité - Exemple de la validation d'un cache bagage

Link and impact of objective parameters on the reliability validation plan - Example of the validation of a luggage cover

LARONDE Rémi
VALEO

1 Avenue Pierre et Marie Curie, 63500
Issoire
remi.laronde@valeo.com

RAMUS SERMENT Caroline
STELLANTIS

57 Avenue du Général Leclerc, 25218
Montbéliard
caroline.ramusserment@stellantis.com

REGIS Bertrand
RENAULT

1 Avenue du Golf, 78280 Guyancourt
bertrand.regis@renault.com

YOUNES Wael
SECTOR

12 Avenue du Québec, 91140 Villebon-
sur-Yvette
wael.younes@sector-group.net

LACHGAR Moustafa
SECTOR

12 Avenue du Québec, 91140 Villebon-
sur-Yvette
moustafa.lachgar@sector-group.net

BONVIN Lavanya
STELLANTIS

Route de Gisy, 78140 Vélizy-
Villacoublay
lavanya.bonvin@stellantis.com

Résumé — La maîtrise de la fiabilité dans l'automobile a des enjeux importants sur l'image de marque et la satisfaction client.

C'est dans ce contexte qu'un groupe d'experts fiabilistes des entreprises HUTCHINSON, STELLANTIS, RENAULT, VALEO, MICHELIN, POCLAIN, CONTINENTAL, UTC, POLYTECH ANGERS, VALTRONIC et SECTOR a élaboré un guide accessible à un large public, proposant des méthodes éprouvées pour quantifier la fiabilité des composants, des fiches pratiques et un glossaire définissant un vocabulaire de référence pour la fiabilité.

En se basant sur ce guide, ce document propose, sur un cas d'application, une aide à la conception d'un plan de validation pour un équipementier confronté à plusieurs spécifications tout en illustrant l'impact des paramètres de l'objectif sur sa définition.

Mots-clefs — *fiabilité, plan de validation, essais tronqués, probabilité de défaillance, niveau de confiance*

Abstract — In the automotive industry, reliability management is important for brand image and customer satisfaction.

It is in this context that a group of reliability experts from the companies HUTCHINSON, STELLANTIS, RENAULT, VALEO, MICHELIN, POCLAIN, CONTINENTAL, UTC, POLYTECH ANGERS, VALTRONIC and SECTOR have drawn up a guide accessible to a wide audience, offering proven methods for quantifying the reliability of components, practical sheets and a glossary defining a reference vocabulary for reliability.

Based on this guide, this document offers, on an application case, help in designing a validation plan for an equipment manufacturer confronting several specifications while illustrating the impact of the target parameters on its definition.

Keywords — *reliability, Validation plan, truncated tests, probability of failure, level of confidence*

I. INTRODUCTION

Depuis 1927, la Société des Ingénieurs de l'Automobile rassemble l'ensemble des spécialistes et passionnés de l'industrie automobile et de ses technologies. Elle a pour ambition de favoriser le développement et le partage des connaissances des ingénieurs, cadres et techniciens de sociétés et grands groupes français ou présents en France, dans le domaine de l'automobile et de la mobilité du futur.

C'est dans ce contexte qu'un groupe d'experts fiabilistes des entreprises HUTCHINSON, STELLANTIS, RENAULT, VALEO, MICHELIN, POCLAIN, CONTINENTAL, UTC, POLYTECH ANGERS, VALTRONIC et SECTOR a élaboré un guide accessible à un large public, proposant des méthodes éprouvées, illustrées par des exemples d'applications, des fiches pratiques et un glossaire définissant un vocabulaire de référence pour la fiabilité : le « guide d'aide à l'estimation et à la validation de la fiabilité automobile » (réf. DC-01) [1].

La validation de la fiabilité se base sur la définition d'un objectif constitué de différents paramètres :

- La probabilité de défaillance,
- La période de référence : c'est-à-dire le nombre d'années et le kilométrage,
- Et le niveau de confiance.

En effet, il serait incomplet d'exprimer l'objectif partiellement.

Cet article propose une étude de la sensibilité de la variabilité de ces paramètres sur le plan de validation de la fiabilité d'un composant.

L'étude est réalisée selon la méthodologie de validation définie dans le guide SIA (voir figure ci-après).

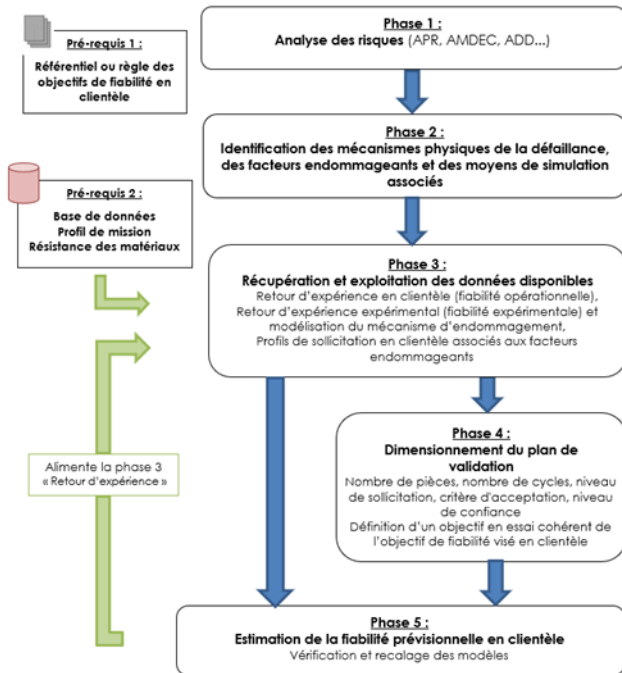


Fig. 1. Trame méthodologique [1]

A plusieurs reprises dans ce document, les fiches et les phases méthodologiques du guide seront citées en référence.

II. CONTEXTE ET DONNEES D'ENTREE

Un fournisseur de cache bagages reçoit deux cahiers des charges pour deux constructeurs différents. Le composant est destiné à des gammes équivalentes et donc aux mêmes clients. Les profils de mission sont alors considérés identiques pour les deux constructeurs.

A. Evénement redouté et définition d'un objectif (résultat de la phase 1)

L'événement redouté est la « gêne de la fermeture de la toile du cache bagage » lors de la situation de vie « déroulement/enroulement de la toile ». Chaque constructeur définit un objectif de fiabilité selon le niveau de gravité.

- **Constructeur 1 : Objectif**

10.000 ppm à 10 ans / 180.000 km avec un niveau de confiance de 70%

$$P_f = Prob(R \leq C) = 10^{-2} \quad (1)$$

- **Constructeur 2 : Objectif**

100.000 ppm à 10 ans / 180.000 km avec un niveau de confiance de 90%

$$P_f = Prob(R \leq C) = 10^{-1} \quad (2)$$

Avec respectivement R et C les distributions de la Résistance et de la Contrainte.

B. Mécanismes physiques de la défaillance et profils de mission (phases 2 et 3)

Les mécanismes physiques de la défaillance sont identifiés : il s'agit de la fatigue et de l'usure.

Une loi statistique caractérisant la résistance est alors définie pour chaque mécanisme physique. Voir Fiche 2 : Lois statistiques associées à des mécanismes physiques [1].

Dans le cas de l'usure, seul le nombre de cycles d'ouvertures/fermetures est un paramètre endommageant.

Dans le cas de la fatigue, il existe deux paramètres endommageant qui sont liés par la relation de Basquin : le nombre de cycles et le niveau d'effort de tirage. Il est alors possible de fixer le niveau d'effort et de calculer le nombre de cycles équivalent (ou inversement). Voir Fiche 4 - Loi d'accélération en fatigue [1].

La pente de Basquin est déterminée par le type de matériau et dans l'exemple $b=3$.

Les profils de mission en nombre d'ouvertures /fermetures et en effort de tirage sont donnés dans le tableau ci-dessous.

TABLE I. PROFILS DE MISSION

Profils de mission	Type de loi	Paramètres de la loi	Période de référence
Nombre d'ouvertures /fermetures du cache bagage	Log-normale	$\mu \ln=8$ $\sigma \ln=1$	10 ans/ 180.000km
Effort de tirage pour ouvrir le cache bagage (N)	Normale	$\mu=7$ $\sigma=1$	-

C. Méthode de calcul pour le dimensionnement du plan de validation (phase 4)

Les calculs réalisés dans ce document se basent sur la méthode probabiliste de Contrainte- Résistance. Voir Fiche 7 : Dimensionnement des essais tronqués à partir de la méthode Contrainte-Résistance du guide SIA [1].

La méthode Contrainte-Résistance est utilisée pour caractériser la distribution de la résistance $F_R(x)$ optimum qui permet de respecter l'objectif :

$$P_f = \int_{-\infty}^{+\infty} F_R(x) f_c(x, A) dx \rightarrow F_R(x) = \dots \quad (3)$$

Avec P_f la probabilité de défaillance objectif, F_R la fonction de répartition de la résistance, f_c la densité de probabilité de la contrainte et A la période de référence objectif.

Dans le cas de l'usure : un seul paramètre endommageant, le nombre de cycles n. La résistance optimum suit une loi de Weibull de paramètres $\beta_{REX}=3$ (retour d'expérience de Stellantis issu de l'exploitation des retours clients) et η_{obj} .

$$P_f = \int_{n_{min}}^{n_{max}} F_R(n, \beta_{REX}, \eta_{obj}) \times f_c(n, A) dn \rightarrow \eta_{obj} = \dots \quad (4)$$

Dans le cas de la fatigue : deux paramètres endommageants, le nombre de cycles n et le niveau d'effort s. La résistance suit une loi normale de paramètre optimum μ_{obj} et $CVR_{REX}=0,1$ (coefficient de variation issu du retour d'expérience). Le calcul est réalisé avec un niveau d'effort fixé s_0 , donc en nombre de cycles équivalent n_{eq} . Voir Fiche 4 - Loi d'accélération en fatigue [1].

$$n_{eq} = n \times \left(\frac{s}{s_0}\right)^b \quad (5)$$

Avec n, s respectivement les variables aléatoires du nombre de cycles et du niveau d'effort. Et b la pente de Basquin.

La distribution de contrainte f_c se construit à partir d'un tirage de Monte Carlo (voir Annexe 2 - thème 4 [1]) : tirage aléatoire sur les lois de distribution du nombre de cycles en clientèle n et de niveau d'effort en clientèle s et de la loi d'accélération qui permet de calculer la valeur n_{eq} pour chaque réalisation du tirage de Monte Carlo.

Il est possible de rendre explicite la distribution de contrainte en ajustant une loi de probabilité (Log-normale) sur la valeur n_{eq} obtenue par la simulation Monte Carlo.

TABLE II. PARAMETRES DE LA LOI DE DISTRIBUTION DE CONTRAINTE

Profils de mission	Type de loi	Paramètres de la loi	Période de référence
Nombre de cycles avec $S_0 = 9N$	Log-normale	$\mu \ln = 7,2$ $\sigma \ln = 1,1$	10 ans/ 180.000km

$$P_f = \int_{n_{eq_{min}}}^{n_{eq_{max}}} F_R(n_{eq}, \mu_{obj}, CVR_{REX}) \times f_c(n_{eq}, A) dn_{eq} \rightarrow \mu_{obj} = \dots \quad (6)$$

Pour l'usure et pour la fatigue, le paramètre optimum de la résistance calculé par une intégration numérique, est utilisé pour dimensionner l'essai tronqué.

Pour un essai bien défini, la proportion de défectueux en essai δ_c (issu de la loi binomiale) doit être supérieure ou égale à 0,1.

$$\delta_c = 1 - (1 - c)^{\frac{1}{Nb}} \quad (7)$$

Où Nb est le nombre de pièces et c le niveau de confiance.

Calcul du niveau du dommage de l'essai τ en nombre de cycles :

$$\tau_{usure} = F_R^{-1} \left(1 - (1 - c)^{\frac{1}{Nb}}, \beta_{REX}, \eta_{obj} \right) \quad (8)$$

$$\tau_{fatigue} = F_R^{-1} \left(1 - (1 - c)^{\frac{1}{Nb}}, \mu_{obj}, CVR_{REX} \right) \quad (9)$$

III. ANALYSE DE SENSIBILITE DE LA PROBABILITE DE DEFAILLANCE SUR LE PLAN DE VALIDATION

Etude de la variabilité de la probabilité de défaillance pour les deux modes de ruine principaux : la fatigue et l'usure. Pour la fatigue, le choix a été fait de fixer le niveau d'effort et de calculer le nombre de cycles équivalents. L'essai de validation est un essai tronqué (zéro défaillance).

Pour chaque valeur de la probabilité de défaillance, le calcul du paramètre optimum de la résistance et le dimensionnement de la durée d'essai sont réalisés. Dans le tableau suivant, nous proposons de définir un essai avec un nombre de pièces fixé : Nb=3 pièces avec un effort fixé S_0 de 9N pour la fatigue.

TABLE III. VARIABILITE DE LA PROBABILITE DE DEFAILLANCE

Probabilité de défaillance	Usure		
	Résistance : Loi de Weibull Param. connu (REX) : $\beta_R = 3$	Définition de l'essai Nb de pièces fixé : Nb = 3	
	Param. optimum η_R	Durée d'essai	
		c=70% Constructeur 1	c=90% Constructeur 2
100.000 ppm	14.600	10.770 cycles	13.368 cycles
10.000 ppm	48.390	35.694 cycles	44.306 cycles
1.000 ppm	122.823	90.597 cycles	112.455 cycles
Probabilité de défaillance	Fatigue		
	Résistance : Loi Normale Param. connu (REX) : $CVR_R = 10\%$	Définition de l'essai Nb de pièces fixé : Nb = 3 Effort fixé $S_0 = 9N$	
	Param. optimum μ_R	Durée essai	
		c=70% Constructeur 1	c=90% Constructeur 2
100.000 ppm	5.498	5.257 cycles	5.548 cycles
10.000 ppm	17.358	16.598 cycles	17.515 cycles
1.000 ppm	40.230	38.467 cycles	40.592 cycles

Note1 : Pour cet exemple, la nécessité d'avoir une valeur cohérente de la proportion de défectueux en essai δ_c (proche de 10%), ne permet pas de définir une même durée d'essai pour les trois valeurs de probabilité de défaillance.

Constat : Plus la probabilité de défaillance est faible, plus le plan d'essais de validation est sévéré en nombre de cycles.

Evolution du Nbre de cycles en fct de P_f

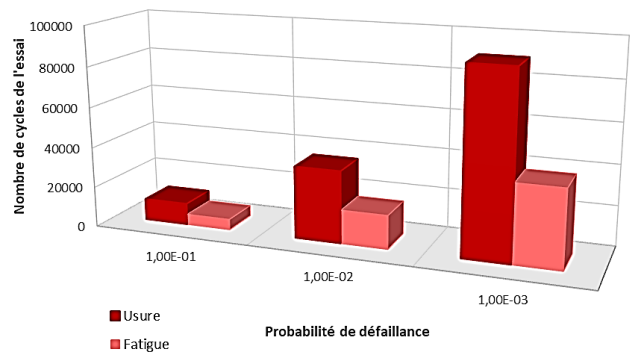


Fig. 2. Evolution du nombre de cycles en fonction de la probabilité de défaillance pour un niveau de confiance $c = 70\%$ et 3 pièces

IV. ANALYSE DE SENSIBILITE DU NIVEAU DE CONFIANCE SUR LE PLAN DE VALIDATION

Etude de la variabilité du niveau de confiance pour les deux modes de ruine principaux : la fatigue et l'usure. Dans le cas de la fatigue, il a été choisi de fixer le niveau d'effort et de calculer le nombre de cycles équivalent. L'essai de validation retenu est un essai tronqué (zéro défaillance).

Pour chaque valeur du niveau de confiance, l'emphase est mise sur le dimensionnement de l'essai. Dans ce chapitre, nous proposons de définir un essai 1 (nombre de pièces fixé : Nb=3 pièces) et un essai 2 (durée d'essai fixée) avec un effort fixé S_0 de 9N pour la fatigue.

TABLE IV. VARIABILITE DU NIVEAU DE CONFIANCE AVEC $P_f=10^{-2}$

Niveau de confiance	Usure		
	Résistance : Loi de Weibull Param. connu (REX) : $\beta_R = 3$	Définition de l'essai 1 Nb de pièces fixé : Nb = 3	Définition de l'essai 2 Durée d'essai fixée $N_{cycles} = 30.000$ cycles
	Param. optimum η_R	Durée d'essai	Nb pièces
70%	48.390	35.694 cycles	6
90%		44.306 cycles	10
Niveau de confiance	Fatigue		
	Résistance : Loi Normale Param. connu (REX) : $CVR_R = 10\%$	Définition de l'essai 1 Nb de pièces fixé : Nb = 3 Effort fixé $S_0 = 9N$	Définition de l'essai 2 Durée d'essai fixée $N_{cycles} = 15.500$ cycles Effort fixé $S_0 = 9N$
	Param. optimum μ_R	Durée essai	Nb pièces
70%	17.358	16.598 cycles	8
90%		17.515 cycles	15

TABLE V. VARIABILITE DU NIVEAU DE CONFIANCE AVEC $P_f=10^{-1}$

Niveau de confiance	Usure		
	Résistance : Loi de Weibull Param. connu (REX) : $\beta_R = 3$	Définition de l'essai 1 Nb de pièces fixé : Nb = 3	Définition de l'essai 2 Durée d'essai fixée $N_{cycles} = 10.000$ cycles
	Param. optimum η_R	Durée d'essai	Nb pièces
70%	14.600	10.770 cycles	4
90%		13.368 cycles	8
Niveau de confiance	Fatigue		
	Résistance : Loi Normale Param. connu (REX) : $CVR_R = 10\%$	Définition de l'essai 1 Nb de pièces fixé : Nb = 3 Effort fixé $S_0 = 9N$	Définition de l'essai 2 Durée d'essai fixée $N_{cycles} = 5.000$ cycles Effort fixé $S_0 = 9N$
	Param. optimum μ_R	Durée essai	Nb pièces
70%	5.498	5.257 cycles	6
90%		5.548 cycles	12

Constat : Un niveau de confiance élevé entraîne une augmentation de la durée d'essai et du nombre de pièces. Mais avec une incidence bien plus faible que la variation de la probabilité de défaillance sur le nombre de cycles.

Evolution du Nbre de pièces et de cycles en fct du niveau de confiance pour l'usure

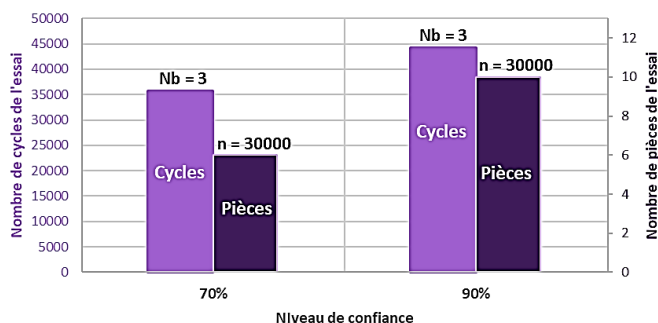


Fig. 3. Evolution du nombre de pièces et de cycles en fonction du niveau de confiance pour l'usure avec une $P_f=10^{-2}$

Evolution du Nbre de pièces et de cycles en fct du niveau de confiance pour la fatigue

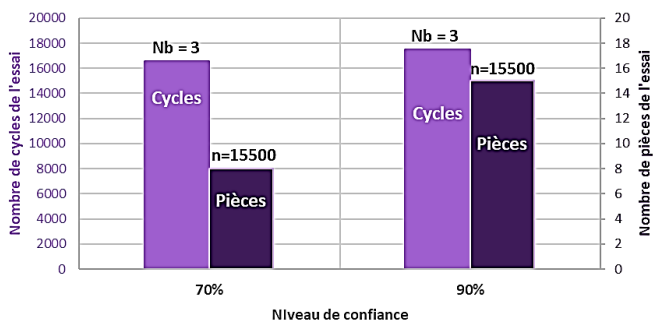


Fig. 4. Evolution du nombre de pièces et de cycles en fonction du niveau de confiance pour la fatigue avec une $P_f=10^{-2}$

V. CONCLUSIONS

A. Conclusions de l'analyse

Le fournisseur de cache-bagages a ainsi défini les deux plans de validation des essais tronqués (zéro défaillance) répondant aux cahiers des charges des deux constructeurs cf. chap. 3 & 4.

Le fournisseur peut réaliser un seul essai sur ses bancs convenant aux deux constructeurs.

En effet, il est possible d'engager un nombre de pièces identiques et poursuivre le nombre de cycles correspondant au plus exigeant des constructeurs.

Le tableau ci-dessous donne des valeurs de nombres de cycles à réaliser pour valider l'objectif de chaque constructeur avec un même nombre de pièces engagées.

TABLE VI. NOMBRE DE CYCLES POUR LE MEME NOMBRE DE PIECES

Nombre de pièces	Usure	
	Constructeur 1 10.000 ppm ; c=70%	Constructeur 2 100.000 ppm ; c=90%
3	35.694 cycles	13.368 cycles
7	26.911 cycles	10.079 cycles
10	23.895 cycles	8.949 cycles
Nombre de pièces	Fatigue	
	Constructeur 1 10.000 ppm ; c=70%	Constructeur 2 100.000 ppm ; c=90%
3	16.598 cycles	5.548 cycles
7	15.618 cycles	5.179 cycles
10	15.261 cycles	5.047 cycles

REMARQUE 1 : Il est préconisé de réaliser l’essai avec un minimum de trois pièces pour limiter la probabilité de tester une pièce défectueuse.

REMARQUE 2 : La réduction du nombre de pièces permet de réduire le coût des essais. La réduction du nombre de cycles permet d’optimiser le planning d’immobilisation des bancs.

REMARQUE 3 : Dans cet exemple, il n’est pas possible de définir une durée de cycles en essai commune aux objectifs des deux constructeurs. En effet, comme cité dans la note1, on est contraint par la valeur de la proportion de défaillants en essai δc qui est très sensible à la probabilité de défaillance.

REMARQUE 4 : Il est possible pour le fournisseur de réaliser un seul essai pour la validation des deux objectifs en fatigue et en usure en prenant le nombre de cycles le plus important pour un même nombre de pièces; à un effort adapté au nombre de cycles choisi (déterminé avec le principe d’équivalence en fatigue). En effet, en prenant en compte l’hypothèse que le nombre de cycles d’ouvertures /fermetures est le seul paramètre endommageant pour l’usure, l’essai peut être réalisé à n’importe quel effort.

TABLE VII. EFFORT EQUIVALENT AU NOMBRE DE CYCLES ENVELOPPE

Nombre de pièces	Nombre de cycles enveloppe avec effort 9N pour l’usure & fatigue		Conditions d’essai adaptés pour les deux constructeur pour l’usure & fatigue
	Constructeur 1 10.000 ppm ; c=70%	Constructeur 2 100.000 ppm ; c=90%	
3	35.694 cycles	13.368 cycles	35.694 cycles avec effort de 6,97 N
7	26.911 cycles	10.079 cycles	26.911 cycles avec effort de 7,66 N
10	23.895 cycles	8.949 cycles	23.895 cycles avec effort de 7,97 N

Les figures ci-après permettent d’illustrer les différents scénarios possibles pour la réalisation d’essai.

La figure 5 permet d’illustrer l’aspect planning. Elle montre que, pour les spécifications demandées par les deux constructeurs, le nombre de cycles diminue avec l’augmentation du nombre de pièces pour atteindre au final un niveau de saturation. Donc, pour l’essai, en considérant que les pièces sont testées simultanément, le gain est négligeable en terme d’occupation de banc à partir de 7 pièces.

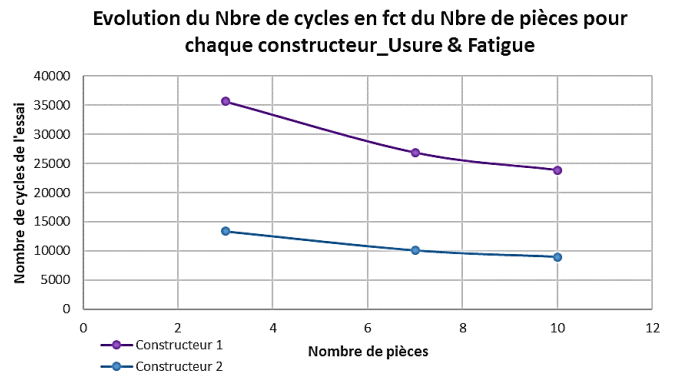


Fig. 5. Evolution du nombre de cycles en fonction du nombre de pièces pour chaque constructeur

La figure 6 permet d’illustrer l’aspect coût. Elle montre que le fait de tester 3 pièces séparément coûterait moins chers que de tester 10 pièces séparément en se basant sur le temps d’occupation de la machine d’essai.

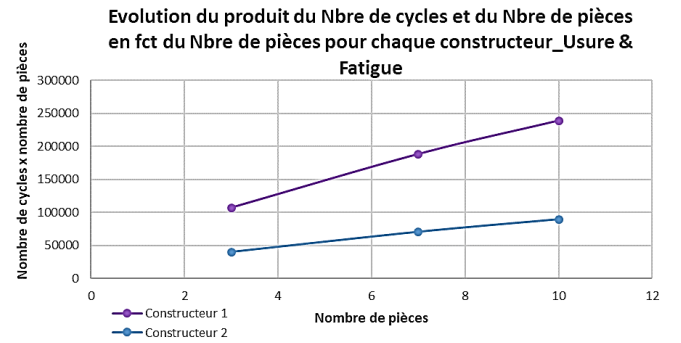


Fig. 6. Evolution du produit du nombre de cycles et du nombre de pièces en fonction du nombre de pièces pour chaque constructeur

Pour réaliser un seul essai convenant aux deux constructeurs, et ajuster le coût de cet essai, le fournisseur de cache-bagages peut faire le bilan économique ci-après : coût A du nombre de pièces versus coût B d’immobilisation des bancs.

Si $A > B \rightarrow$ Cahiers des charges des deux constructeurs validés pour les deux modes de ruine avec 3 pièces à 35.694 cycles et à un effort de 7 N sans aucune défaillance.

Si $B > A \rightarrow$ Cahiers des charges des deux constructeurs validés pour les deux modes de ruine avec 10 pièces à 23.895 cycles et à un effort de 8 N sans aucune défaillance quand le banc peut faire les essais en même temps.

B. Conclusion générale

Cette note permet de tirer plusieurs conclusions :

- La probabilité de défaillance est le paramètre le plus important en terme de sévérité de l'essai. Une division par 10 de cette probabilité induit environ une multiplication par 3 du nombre de cycles.
- La probabilité de défaillance doit être donnée avec une période de référence et un niveau de confiance associés
- Le niveau de confiance a également une influence sur le coût d'un plan de validation.
- La probabilité de défaillance doit être adaptée à la gravité de l'événement redouté. En effet, plus la gravité d'un événement redouté est importante plus la probabilité d'apparition doit être faible dans le but d'avoir un risque acceptable (cf. courbe de Farmer).

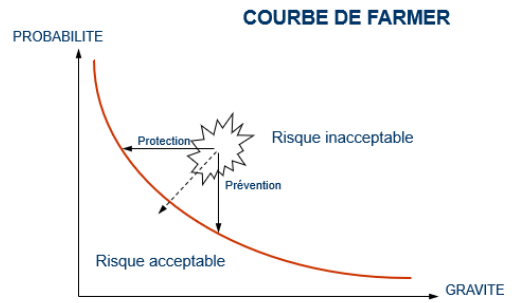


Fig. 7. Courbe de FARMER [2]

REFERENCES

- [1] Guide d'aide à l'estimation et à validation de la fiabilité automobile, SIA, 2017, versions anglaise et française disponibles gratuitement : <http://www.sia.fr/publications/>, 2017.
- [2] F. FARMER, «Today's risks : Thinking the unthinkable,» *Nature*, vol. 267, pp. 92-93, 1977.