



HAL
open science

Méthode d'allocation d'objectifs de fiabilité pour la conception d'un système partiellement nouveau

Damien Manceau, Chaymaa Bourich, Laurent Saintis

► To cite this version:

Damien Manceau, Chaymaa Bourich, Laurent Saintis. Méthode d'allocation d'objectifs de fiabilité pour la conception d'un système partiellement nouveau. Congrès Lambda Mu 21 " Maîtrise des risques et transformation numérique : opportunités et menaces ", Oct 2018, Reims, France. hal-02074628

HAL Id: hal-02074628

<https://hal.science/hal-02074628>

Submitted on 20 Mar 2019

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.

Méthode d'allocation d'objectifs de fiabilité pour la conception d'un système partiellement nouveau

Damien MANCEAU

CLAAS TRACTOR

ZA de l'étoile 2 Trangé

Le MANS

Damien.Manceau@claas.com

Chaymaa BOURICH

ISTIA

62 avenue de Notre Dame du Lac

ANGERS

chaymaabourich94@gmail.com

Laurent SAINTIS

ISTIA/LARIS

62 avenue de Notre Dame du Lac

ANGERS

Laurent.saintis@univ-angers.fr

Résumé

Le travail exposé dans cette communication a été accompli lors d'un stage de 4 mois au sein de CLAAS TRACTOR sur l'allocation d'objectifs de fiabilité, dans une perspective de maîtrise et d'amélioration des méthodologies utilisées en sûreté de fonctionnement. Dans le cadre du processus de croissance de fiabilité, l'entreprise CLAAS TRACTOR a besoin d'une méthode d'allocation d'objectifs de fiabilité prenant en compte la diversité des systèmes et des composants pour un nouveau modèle de tracteur, afin d'associer retour d'expérience avec une analyse de fiabilité prévisionnelle. La méthode développée est une adaptation de méthodes existantes permettant de prendre en considération l'ensemble des composants avec ou sans retour d'expérience afin de définir les objectifs de fiabilité pour les systèmes/composants d'un tracteur agricole. L'attribution d'objectif de fiabilité pour les composants nouveaux est basée sur les valeurs de sévérité et d'occurrence issues des AMDECs. De ce fait, nous avons réussi à appliquer la méthode proposée sur des projets en cours de réalisation. L'application de la méthode a permis de fournir une allocation à l'ensemble des composants d'un nouveau tracteur agricole, comprenant des éléments nouveaux, ce qui correspondait aux attentes de l'entreprise CLAAS.

Summary

The work presented in this communication was accomplished during a four-month internship at CLAAS TRACTOR on the allocation of reliability objectives, with the purpose of improving the methodologies used in dependability. As part of the reliability growth process, CLAAS TRACTOR needs a reliability objective allocation method that considers the diversity of systems and components for a new tractor model, in order to associate feedback with a predictive reliability analysis. The method developed is an adaptation of existing methods, aiming to take into consideration all the components with or without feedback to define the reliability objectives for the systems / components of an agricultural tractor. The reliability objective assignment for the new components is based on severity and occurrence values derived from FMEA. As a result, we have succeeded in applying the proposed method on projects in progress. By implementing this method, we were able to provide an allocation to all the components of a new agricultural tractor, including new elements, which meets the expectations of CLAAS.

1. Contexte

Le domaine agricole connaît de grandes transitions avec l'introduction de nouvelles fonctionnalités dans les tracteurs, qui ont permis non seulement d'accroître les rendements de la terre, mais également d'élever les revenus de l'agriculteur. Les tracteurs ont fortement évolué avec l'introduction croissante des nouvelles technologies, notamment dans les domaines électrique et électronique. Dans un secteur très concurrentiel, les constructeurs conçoivent de nouveaux modèles durant des cycles de développement très courts, en se basant sur une machine de référence qui est généralement le modèle de tracteur remplacé. Il s'agit alors de définir des objectifs de fiabilité pertinents à partir du modèle initial.

Les méthodes d'allocation d'objectifs de fiabilité sont généralement basées sur un retour d'expérience d'un système ancien qui sert de référence pour la conception du

nouveau système, ici un tracteur agricole (TA). La principale est la méthode dite ARINC (ARINC Research Corporation and Von Alven, 1964). Celle-ci attribue un poids à chacun des sous-systèmes ou composants fonction de leur taux de défaillance. Cette méthode ne traduit pas les efforts d'amélioration à effectuer vis-à-vis de l'objectif. Pour prendre en compte les difficultés de conception (Yang, 2007) ou la criticité des défaillances sur les objectifs de fiabilité voire de sécurité (King and Jewett, 2010), plusieurs méthodes améliorent la précédente en introduisant un facteur de pondération fonction du niveau de maturité technologique (TRL) de la nouvelle conception ou encore de la criticité des défaillances. Toutefois, ces méthodes ne permettent pas d'allouer des objectifs de fiabilité à des systèmes et composants partiellement ou intégralement nouveaux (i.e. incluant de nouvelles technologies comme l'aide à la conduite, ou l'électrification).

Dans le cas d'un nouveau système, à partir d'information sur l'architecture et les fonctionnalités, plusieurs méthodes attribue un poids en fonction de la complexité de chaque

sous-système comme la plus ancienne (Reliability of military electronic equipment). D'autres méthodes se basent principalement sur les études de fiabilité prévisionnelle et l'expertise du système pour fournir une allocation de fiabilité, (Kim et al., 2013) ainsi que (Yadav and Zhuang, 2014). Là encore, ces méthodes ne permettent pas de tenir compte du retour d'expérience.

Dans le cadre de l'amélioration des études de fiabilité, et lors de la mise en pratique dans le cadre du processus de croissance de fiabilité, l'entreprise CLAAS TRACTOR a besoin d'une méthode d'allocation d'objectifs de fiabilité prenant en compte la diversité des systèmes et des composants pour un nouveau modèle de tracteur, afin d'associer retour d'expérience avec une analyse de fiabilité prévisionnelle. Cette présente communication a pour finalité de créer un algorithme d'allocation de fiabilité reposant aussi bien sur des méthodes exactes que sur des méthodes approchées. Le modèle proposé est basé sur l'adaptation de deux méthodes : la méthode ARINC et une méthode utilisant un indicateur de criticité.

Les méthodes précitées sont décrites dans un premier temps. Puis ces méthodes seront adaptées pour obtenir une nouvelle méthode d'allocation de fiabilité. Enfin, une application de la méthode à une conception de TA en cours de développement et son insertion dans le processus de croissance de fiabilité permettront de mettre en évidence l'intérêt de la méthode.

2. Méthodes

L'allocation de fiabilité est une étape importante en phase de conception ou de préconception d'un système ou d'une structure. Elle permet d'attribuer, en amont, une fiabilité à atteindre à ses composants afin de garantir un objectif de fiabilité au système. La société CLAAS TRACTOR utilise un

outil de gestion de la fiabilité RPM (Reliability Process Management). Il permet de recueillir le nombre de panne du système suivant chaque composant durant la période de garantie. Lors de la conception d'un nouveau modèle de tracteur agricole, le processus de croissance de fiabilité se base sur les données de panne pour améliorer la fiabilité d'une nouvelle version. La méthode dite ARINC peut être appliquée ici avec le retour d'expérience collecté (REX) comme présenter dans la section suivante.

En parallèle, l'entreprise effectue une analyse de fiabilité prévisionnelle dont une AMDEC qui permet notamment d'anticiper les défaillances des nouveaux composants. L'allocation de fiabilité peut également se baser sur ces informations de criticité et de probabilité d'occurrence décrite dans la section 2.2.

Toutefois, les besoins de l'entreprise nécessitent la mise en place d'une méthode mettant en corrélation les deux parties du processus de croissance de fiabilité. Cette amélioration sera présentée dans la section 2.3.

2.1. Méthode ARINC

La méthode est détaillée dans (ARINC Research Corporation and Von Alven, 1964). Celle-ci est basée sur les hypothèses que les sous-systèmes sont en série et que leur durée de vie suit une loi exponentielle. L'allocation attribue un facteur de poids à chacun des composants du système pour définir son taux de défaillances. Ce facteur représente la proportion des taux de défaillances issus du retour d'expérience sur ces composants.

$$W_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} \quad \{1\}$$

$$\lambda_i^* = W_i \cdot \lambda_i^* \quad i = 1, 2, \dots, k \quad \{2\}$$

Avec :

λ_i : Le taux de défaillance actuel du $i^{\text{ème}}$ sous-système/composant

λ_i^* : Le taux de défaillance alloué au $i^{\text{ème}}$ sous-système/composant

λ_i^* : Le taux de défaillance exigé du système

k : Nombre de sous-systèmes

2.2. Méthode basée sur un facteur RPN : Ai

La méthode d'allocation présentée ici est détaillée dans (King and Jewett, 2010). Cette méthode d'allocation prend en compte les informations de criticité générées lors de l'analyse de la criticité qualitative des AMDEC. Les concepteurs classifient subjectivement la gravité, l'occurrence et la détection d'un mode de défaillance sur une échelle de 1 à 5. Ensuite, le risque associé à chaque mode de défaillance est calculé par l'indice de criticité (Gravité, Fréquence, Détection) noté RPN (Risk Priority Number).

Soit le système i avec N_i mode de défaillance

S_{ij} Score de sévérité

O_{ij} Score d'occurrence $j = 1, \dots, N_i$ et $i = 1, \dots, n$

D_{ij} Score de détection

n : nombre de composants.

La sévérité S_{ij} est une évaluation de la gravité de l'effet du mode de défaillance N_i si celui-ci a eu lieu.

L'occurrence O_{ij} est classée en fonction de la fréquence du défaut. Elle est considérée comme le taux de panne qualitatif.

La détection D_{ij} est similairement classée comme une évaluation de la capacité de panne détectée avant que l'effet de défaillance soit réalisé.

Le RPN du mode de défaillance j dans le système i est donnée par :

$$RPN = S_{ij} \times O_{ij} \times D_{ij} \quad j = 1, \dots, N_i \text{ et } i = 1, \dots, n$$

Associé à la problématique industrielle de l'entreprise, le facteur de détection n'est pas pris en considération. Le RPN pour un composant est donc donné par :

$$RPN = S_{ij} \times O_{ij} \quad j = 1, \dots, N_i \text{ et } i = 1, \dots, n$$

Pour mesurer la criticité du composant i , la valeur maximale RPN de tous ces modes de défaillance est utilisée :

$$C_i = \frac{1}{N_i} \cdot \sum_{j=1}^{N_i} S_{ij} \cdot O_{ij} \quad \{3\}$$

Cependant, cette équation n'est pas utile pour allouer une grande fiabilité à un composant ayant une forte gravité, parce que le produit de la sévérité et d'occurrence est utilisé comme un critère unique.

Pour illustrer ceci, soit un système série constitué de deux composants. Les deux composants ont des modes de défaillances différents. Alors : $n = 2, N_1 = 2, N_2 = 2$



Figure 1. Valeur de la criticité pour un système constitué de 2 composants avec 2 modes de défaillances différents.

L'équation {3} alloue une plus grande fiabilité au composant 2 (C2) qu'au composant 1 (C1), bien que le composant 1 ait un mode de défaillance avec une sévérité 10.

Ainsi, l'équation {3} n'est pas efficace dans le cas d'un système ayant un mode de défaillance avec une gravité élevé et un autre mode avec une faible gravité. Le but de la méthode proposée étant de réduire l'apparition des pannes, le plus grand effet d'un système est choisi comme sévérité :

$$S_i^* = \max(S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{Ni}) \quad i = 1, \dots, n$$

Et donc :

$$RPN^* = S_i^* \cdot O_i^* \quad i = 1, \dots, n \quad \{4\}$$

O_i^* Correspond à l'occurrence de la sévérité S_i^*

La figure 2 illustre un exemple illustrant du changement de sévérité.

L'équation {4} alloue une plus grande fiabilité au composant 1 qu'au composant 2. La répartition des poids est ainsi plus efficace puisqu'elle alloue la plus grande fiabilité au composant qui a un mode de défaillance avec une gravité élevée.

Le poids d'allocation de fiabilité pour le facteur A_{i1} est donné par :

$$A_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i} \quad \{5\}$$

$$\text{Et } b_i = 1 - \frac{RPN^*}{\sum_{i=1}^k RPN^*} \quad i = 1, \dots, n$$

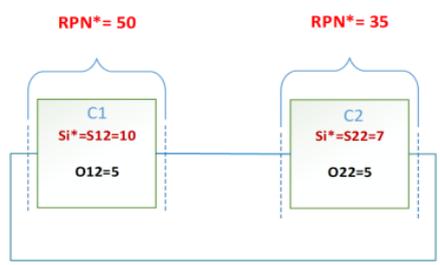


Figure 2. Valeur du RPN* pour un système composé de 2 composants avec 2 modes de défaillances différents.

2.3. Méthode d'allocation proposée

La méthode d'allocation d'objectifs de fiabilité proposée se base sur une combinaison des deux méthodes présentées dans les sections précédentes, en introduisant un facteur de pondération associé à la proportion de nouvelle fonctionnalité (et composants) sur le système. L'allocation du taux de défaillance objectif du composant s'écrit de la manière suivante :

$$\lambda_i^* = \frac{1}{K} [a \times W_i + (1 - a) \times A_i] \lambda_s^* \quad \{6\}$$

Avec : a égal 0 ou 1 (Lorsqu'on n'a pas du REX a=0 sinon a=1).

λ_s^* : Taux de défaillance exigé du système

λ_i^* : Taux de défaillance alloué au i^{ème} sous-système/composant.

Le coefficient K est défini de la manière suivante :

-> Sous-Système contenant uniquement des composants avec du REX

-> Sous-Système contenant uniquement des composants sans REX

K = 2 -> Sous-Système contenant un mix : Composants avec et sans REX

Vérification de la répartition de l'allocation :

Montrons qu'on a bien $\sum_{i=1}^h A_i = 1$, $\sum_{i=1}^h W_i = 1$ et

$$\sum_{i=1}^h \lambda_i^* = \lambda_s^*$$

$$\text{On a } A_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^h b_i} \text{ donc } \sum_{i=1}^h A_i = \frac{\sum_{i=1}^h b_i}{\sum_{i=1}^h b_i} = 1$$

$$\text{On a } W_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{j=1}^h \lambda_j} \text{ donc } \sum_{i=1}^h W_i = \frac{\sum_{i=1}^h \lambda_i}{\sum_{j=1}^h \lambda_j} = 1$$

$$\text{On a } \lambda_i^* = [a \cdot W_i + (1 - a) \cdot A_i] \lambda_s^*$$

$$\sum_{i=1}^h \lambda_i^* = \sum_{i=1}^h [a \times W_i + (1 - a) \times A_i] \lambda_s^*$$

$$= \left[\sum_{i=1}^h a W_i + \sum_{i=1}^h [(1 - a) A_i] \right] \lambda_s^*$$

$$= [a \sum_{i=1}^h W_i + (1 - a) \sum_{i=1}^h A_i] \lambda_s^*$$

$$\text{On a bien } \sum_{i=1}^h A_i = 1 \quad \text{et } \sum_{i=1}^h W_i = 1$$

Donc $\sum_{i=1}^h \lambda_i^* = [a + 1 - a] \lambda_s^*$ ce qui vérifie la répartition.

3. Application à la conception d'un tracteur

Dans cette partie, nous présenterons une application de la méthode d'allocation d'objectifs de fiabilité proposée ci-dessus.

Le tracteur agricole est réparti en 26 systèmes. Au cours du développement d'un système, sa fiabilité est désignée en attribuant un objectif de fiabilité à ses composants. L'objectif qu'on va allouer est le taux de défaillance global du tracteur (estimé à partir du nombre moyen annuel de panne).

Le système en exemple est le système AIR INLET. L'application de la méthode au tracteur complet ne représente pas de difficulté supplémentaire car il ne s'agit que d'une augmentation de la taille du tableau pour les 25 systèmes restants. Cette simplification nous permettra d'utiliser les trois méthodes d'applications sur un même système :

- Contenant uniquement des composants avec REX
- Contenant uniquement des composants sans REX
- Combinant les composants avec REX et sans REX

Première méthode d'application: Système contenant uniquement des composants avec REX

Soit un système AIR INLET initial avec un objectif de taux de panne $\lambda_s^* = 1,70E-05$, formé de 3 composants (h=3) :

Filtre air, Durite d'air / support, Refroidisseur d'air.

L'analyse des données garantie permet d'estimer le taux de défaillance à partir du nombre de panne des composants du système :

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée de fonctionnement}}$$

La méthode ARINC d'allocation d'objectifs de fiabilité peut ici s'appliquer. Le tableau ci-dessous présente les objectifs alloués aux composants du système AIR INLET.

AIR INLET			
Nom du composant	Taux de panne réel	Poids Wi	Objectif taux de panne
Filtre AIR	1.38E-04	0.37	6.29E-06
DURITE D'AIR/SUPPORT	5.58E-05	0.15	2.55E-06
REFROIDISSEUR D'AIR	1.79E-04	0.48	8.16E-06

Tableau 1 Allocation d'objectifs de fiabilité dans le cas où le système est composé des composants avec du REX

En se basant sur les défaillances issues de l'analyse Garantie RPM de chaque composant et la durée de fonctionnement, nous calculons le taux de panne réel, qui nous permet dans un premier temps d'estimer le nombre de pannes réellement soulevés pendant la durée de fonctionnement du composant, et dans un second temps de calculer le poids de la défaillance du composant par rapport à celle du système. Par la suite, l'objectif taux de panne est calculé en multipliant le poids par l'objectif taux de panne système.

Dans cette première partie de la section 3, il s'agit d'une application directe de la méthode ARINC pour l'allocation d'objectifs de fiabilité.

Deuxième méthode d'application : Système contenant uniquement des composants sans REX (Retours d'expériences)

Pour ce même système AIR INLET, deux nouveaux composants ont été ajoutés : Préfiltre, Conduites du Refroidisseur d'Air de Charge (CRAC)

La méthode basée sur les RPN peut être utilisée pour allouer un objectif de fiabilité à ces composants initial avec un objectif de taux de panne $\lambda s^* = 1,70E-05$. Les valeurs de la sévérité et d'occurrence sont issues des AMDECs. Le tableau 2 présente les résultats obtenus.

AIR INLET					
Nom du composant	Sévérité Si	Occurrence	RPN	Ai	Objectif taux de panne
PREFILTRE	5	6	30	0.318182	5.41E-06
CRAC	7	2	14	0.681818	1.16E-05

Tableau 2 Allocation d'objectifs de fiabilité pour un système constitué uniquement des composants sans REX

L'indicateur RPN est calculé en fonction de la sévérité et l'occurrence suivant l'équation {4}. Par la suite, l'équation {5} fournit le poids A_i qui nous permet de donner un objectif pour chaque composant du système. Cette partie nous permet de donner des objectifs de fiabilité même si nous n'avons pas des retours d'expérience.

Troisième méthode d'application : Système contenant des composants sans REX et avec REX.

Soit maintenant le système complet AIR INLET avec un objectif de taux de panne $\lambda s^* = 1,70E-05$, composé des 5 composants (h=5):

AVEC REX : Filtre air, Durite d'air / support, Refroidisseur d'air

SANS REX : Préfiltre, Conduites du Refroidisseur d'Air de Charge (CRAC)

Dans cette méthode d'application, le facteur de pondération associé à la nouveauté K est fixé à 2.

Le tableau 3 fournit les résultats d'allocation pour l'ensemble du système et qui combine bien les deux méthodes précédentes.

AIR INLET					
Nom du composant	a	Ai	Taux de panne réel	Poids Wi	Objectif taux de panne
Filtre AIR	1		1.38E-04	0.37	3,15E-06
DURITE D'AIR/SUPPORT	1		5.58E-05	0.15	1,28E-06
REFROIDISSEUR D'AIR	1		1.79E-04	0.48	4,08E-06
PREFILTRE	0	0.318182			2,70E-06
CRAC	0	0.681818			5,80E-06

Tableau 3 Allocation d'objectifs de fiabilité pour un système constitué de composants avec et sans REX

L'amélioration de la méthode d'allocation d'objectif de fiabilité permet de faire le lien avec les études AMDEC, et ainsi de solliciter les concepteurs sur les études AMDEC réalisées.

Jusqu'à présent, l'utilisation de cette deuxième méthode d'application reste limitée vu la subjectivité des indicateurs attribués aux composants. L'avantage c'est qu'elle permet de donner un ordre de grandeur de la criticité de l'élément et par la suite de permettre l'estimation de son objectif de taux de panne.

Cette méthode d'application peut être utilisée dans les cas suivants :

- Absence de bases de données de fiabilité de composants (aspects normatifs)
- Impossibilité de réaliser des essais sur des composants (coûts, délais...)
- Absence de retours opérationnels sur les composants.

Le développement de cette démarche a été proposé pour améliorer la conception du système et d'éliminer la notion de zéro défaillance. Un système avec des composants sans REX, ne signifie pas que ces composants sont fiables à 100%. Pour mettre en valeur cet aspect-là, nous avons pensé à l'utilisation de l'indicateur RPN.

4. Conclusion

Dans cet article, l'adaptation de méthodes existantes a permis d'appliquer l'allocation de fiabilité dans un contexte général de conception d'un système constitués d'éléments avec ou sans retour d'expérience. La méthode proposée a été testée sur des projets en cours de réalisation permettant d'allouer un indicateur de fiabilité à chacun des composants du nouveau modèle de tracteur agricole. Par ailleurs, l'application a permis de croiser les analyses de fiabilité prévisionnelle et opérationnelle, ce qui correspond aux attentes de l'entreprise CLAAS.

Afin de prendre en compte les contraintes de conception, plusieurs facteurs de pondération peuvent être pris en compte dans la méthode comme le coût des composants

ou les efforts d'amélioration pour atteindre l'objectif (Yadav and Zhuang, 2014).

La méthode peut être également améliorée en dimensionnant l'allocation en fonction des coûts des essais de croissance de fiabilité vis-à-vis de l'objectif à atteindre. Cela permettra également de concevoir les plans de tests correspondants (cf. (Guo et al., 2014)).

5. Remerciements

Ces travaux ont été réalisés chez CLAAS TRACTOR dans le cadre d'un stage d'un étudiant de quatrième année de l'école d'ingénieur ISTIA. Les auteurs remercient la société CLAAS TRACTOR pour l'encadrement des travaux et la divulgation des résultats présentés.

6. Références

ARINC Research Corporation, and Von Alven, W.H. (1964). Reliability engineering (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall).

Guo, H., Jiang, M., and Wang, W. (2014). A method for reliability allocation with confidence level. In Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2014 Annual, pp. 1–1.

Kim, K.O., Yang, Y., and Zuo, M.J. (2013). A new reliability allocation weight for reducing the occurrence of severe failure effects. Reliab. Eng. Syst. Saf. 117, 81–88.

King, J.P., and Jewett, W.S. (2010). Robustness Development and Reliability Growth: Value Adding Strategies for New Products and Processes (Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall Press).

Reliability of military electronic equipment. Advisory Group of Reliability of Electronic Equipment (AGREE). (Office of the Assistant Secretary of Defense Research and Engineering).

Yadav, O.P., and Zhuang, X. (2014). A practical reliability allocation method considering modified criticality factors. Reliab. Eng. Syst. Saf. 129, 57–65.

Yang, G. (2007). Life Cycle Reliability Engineering (Wiley).