

## GUIDE - FDMS

Guide FDMS : fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité -  
Mise en œuvre de la norme EN 50126 pour les composants  
mécaniques ferroviaires

**Forum Rail System - SET 6, « Organes de roulement ».**



INTERNATIONAL UNION  
OF RAILWAYS

ISBN 978-2-7461-2422-6

ISBN 978-2-7461-2423-3 (version allemande)

ISBN 978-2-7461-2424-0 (version anglaise)

### **Avertissement**

Toutes copies, reproductions ou diffusions, mêmes partielles, par quelque moyen que ce soit y compris électronique, à usage autre que privé et individuel, sans le consentement exprès de l'Union Internationale des Chemins de fer, sont interdites. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction par un art ou procédé quelconque. Ne sont autorisées, avec mention, du nom de l'auteur et de la source que « les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées ». (Articles L 122-4 et L122-5 du code de la propriété intellectuelle).

© Copyright Union Internationale des Chemins de fer (UIC) - Paris, 2015.

FICHE D'INFORMATION																														
Désignation <b>UIC B 169/RP 43</b>				Présente version <b>Mai 2015</b>																										
Titre du document <b>Guide FDMS : fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité - Mise en œuvre de la norme EN 50126 pour les composants mécaniques ferroviaires</b>				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center; padding: 2px;">Langues</th> </tr> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center; padding: 2px;">Original</th> <th colspan="3" style="text-align: center; padding: 2px;">Traduction</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Fr</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">De</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">En</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Fr</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">De</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">En</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>			Langues						Original			Traduction			Fr	De	En	Fr	De	En	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Langues																														
Original			Traduction																											
Fr	De	En	Fr	De	En																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																									
Auteur(s) <b>Groupe d'experts « Essieux / roues EN 50126 »</b>				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Pages</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Figures</th> <th style="text-align: center; padding: 2px;">Tab.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><b>38</b></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><b>1</b></td> <td style="text-align: center; padding: 2px;"><b>13</b></td> </tr> </tbody> </table>		Pages	Figures	Tab.	<b>38</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	(Sans les annexes)																		
Pages	Figures	Tab.																												
<b>38</b>	<b>1</b>	<b>13</b>																												
Projet <b>Guide - FDMS</b>																														
Organe exécutant les travaux <b>Union Internationale des Chemins de fer (UIC) Département Rail System 16 rue Jean Rey F – 75015 PARIS</b>				Organe demandant les travaux <b>Union Internationale des Chemins de fer (UIC) Département Rail System 16 rue Jean Rey F – 75015 PARIS</b>																										
No. de projet de l'organe exécutant les travaux <b>P000319</b>				No. de projet de l'organe demandant les travaux <b>P000319</b>																										
Résumé analytique  <p>L'objectif du projet est de permettre de calculer les valeurs FDMS caractéristiques sur la base de la norme EN 50126 afin de déterminer la fiabilité et la sécurité des organes de roulement du matériel ferroviaire. Le projet s'appuie sur les résultats des travaux du « Joint Sector Group de la Task Force ERA sur la maintenance des essieux de wagons » (JSG), sur les acquis du projet EURAXLES et les retombées du projet UIC SOR. Ces valeurs caractéristiques sont nécessaires pour analyser fiablement les modifications affectant les organes de roulement et leurs effets.</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>In fine, il sera possible de calculer les valeurs FDMS caractéristiques. Ces valeurs caractéristiques sont nécessaires pour analyser fiablement les modifications affectant les organes de roulement et leurs effets. A son terme, le projet aura fourni une procédure pour déterminer ces valeurs FDMS caractéristiques à partir de calculs pratiques de démonstration.</p>																														
Mots-clés <b>Essieux montés, essieux ferroviaires, roues, boîtes de roulement, fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité, AMDEC, FDMS et LCC de ces composants</b>																														



# Table des matières

Liste des annexes.....	vii
Liste des illustrations.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Modifications.....	x
Abréviations.....	xi
<b>1. Objet du document.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Contexte.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Liste des principales références documentaires.....</b>	<b>3</b>
<b>4. Processus d'analyse des risques.....</b>	<b>4</b>
<b>5. Caractérisation du système / analyse fonctionnelle.....</b>	<b>5</b>
5.1. Analyse fonctionnelle externe (AFE) [anglais : EFA].....	5
5.1.1. Objet.....	5
5.1.2. Méthodologie.....	5
5.2. Analyse fonctionnelle interne (AFI).....	6
5.2.1. Objet.....	6
5.2.2. Méthodologie.....	7
<b>6. Analyse des risques.....</b>	<b>8</b>
6.1. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC).....	8
6.1.1. Objet.....	8
6.1.2. Méthodologie.....	9
6.1.3. Résumé des phases opératoires pour une AMDEC.....	10
6.1.4. Définition détaillée du contenu de la feuille AMDEC.....	12
6.1.4.1. Identification d'un composant analysé.....	12
6.1.4.2. Identification des modes de défaillance et de leurs causes primaires.....	12
6.1.4.3. Identification des conséquences directes du mode de défaillance.....	13
6.1.4.4. Succession de défaillances et leurs effets.....	13
6.1.4.5. Attribution d'un niveau de criticité par le RPN (Risk Priority Number).....	14
6.1.4.6. Identification du RPN limite.....	16
<b>7. Evaluation de l'acceptation du risque et mesures d'amélioration.....</b>	<b>17</b>
7.1. Généralités.....	17

7.2.	Mesures de maintenance préventive .....	17
7.3.	Action sur la Qualité .....	18
7.4.	Action sur la conception .....	18
7.5.	Action sur l'exploitation.....	18
<b>8.</b>	<b>Calcul FDM.....</b>	<b>19</b>
8.1.	Informations générales sur l'outil de calcul.....	19
8.2.	Procédure à suivre pour calculer les FDM à l'aide du calculateur FDM UIC .....	19
8.2.1.	Feuille « Operation_Data » .....	19
8.2.1.1.	Détermination des heures de fonctionnement.....	20
8.2.1.1.1.	Calcul des heures de fonctionnement .....	21
8.2.1.1.2.	Estimation d'expert pour les heures de fonctionnement .....	21
8.2.1.2.	Détermination du nombre de composants .....	22
8.2.2.	Feuille « R_Reliability » .....	22
8.2.3.	Feuille « A_Availability » .....	24
8.2.4.	Feuille « M_Maintainability ».....	25

## Liste des annexes

Annexe 1	EFA_AFE___IFA_AFI.xls
Annexe 2	EFA_AFE___IFA_AFI__Radsatz_Essieu_Wheelset.xls
Annexe 3	FMECA_AMDEC.xls
Annexe 4	FMECA_AMDEC___Wheelset.xls
Annexe 5	RAM-calculator_UIC.xls
Annexe 6	RAM-calculator_UIC___Wheelset.xls

## Liste des illustrations

Figure 1 : Structure du processus d'analyse des risques .....	4
---	---



# Liste des tableaux

Tableau 1 -	Liste des principales références documentaires pour l'analyse FDMS (mars 2014).....	3
Tableau 2 -	Affichage écran de la feuille « FMECA » (les valeurs d'entrée sont des exemples) .....	10
Tableau 3 -	Découpage en composants (NB : « abutment » = collerette).....	12
Tableau 4 -	Cause primaire de la défaillance et défaillance .....	12
Tableau 5 -	Conséquence directe d'une défaillance .....	13
Tableau 6 -	Exemple de cascade de défaillances .....	14
Tableau 7 -	Exemple de calcul du RPN pour quatre défaillances séparées (les valeurs d'entrée sont ici à titre d'exemple) .....	15
Tableau 8 -	Exemple de changement de RPN pour une défaillance à la suite d'une mesure d'amélioration.....	17
Tableau 9 -	Première capture d'écran pour la feuille « Operation_Data » (les valeurs d'entrée sont des exemples) .....	20
Tableau 10 -	Deuxième capture d'écran - feuille « Operation_data » (les valeurs entrées correspondent à des exemples) .....	22
Tableau 11 -	Première capture d'écran pour la feuille « R_Reliability » (les valeurs d'entrée sont des exemples) .....	23
Tableau 12 -	Capture d'écran pour la feuille « A_Availability » (les valeurs d'entrée sont des exemples) .....	25
Tableau 13 -	Capture d'écran pour la feuille « A_Maintenability » (les valeurs d'entrée sont des exemples).....	26

# Modifications

Numéro de référence	Introduite par (nom en majuscules)	Date d'introduction (AAAA-MM-JJ)

# Abréviations

AFE	Analyse fonctionnelle externe
AFI	Analyse fonctionnelle interne
AMDE	Analyse des modes de défaillances et de leurs effets
AMDEC	Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité
CSM / MSC	Méthodes de sécurité communes
Dist	Distance moyenne entre origine et destination en fonction du réseau de lignes
FDM	Fiabilité, disponibilité, maintenabilité
FDMS	Fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité
FTA	Analyse de l'arbre des défauts
LAMIS	temps nécessaire pour les aspects logistiques et administratifs de la maintenance sous véhicule en exploitation
LAMOV	temps nécessaire pour les aspects logistiques et administratifs de la maintenance hors exploitation courante
LCC	Life Cycle Cost (coût du cycle de vie = CCV)
MIS	Temps nécessaire pour la maintenance sous véhicule en exploitation
MIS-DC	Maintenance sous véhicule en exploitation (MIS) y compris la mise à disposition et la récupération du véhicule
MOV	Temps nécessaire pour la maintenance sous véhicule hors exploitation courante

MTBF	Temps moyen entre défaillances
OHJ	Heures de fonctionnement - durée de parcours
OHL	Heures de fonctionnement pour chargement et déchargement
OHML	Heures de fonctionnement pour maintenance
OHPR	Heures de fonctionnement pour mise à disposition et ravitaillement
PBS	Structure de décomposition du produit
RPN	Risk Priority Number (IPR)
RPNL	Risk Priority Number - Limit
UIC	Union internationale des Chemins de fer

# 1. Objet du document

Pour exécuter l'analyse FDMS, l'utilisateur était jusqu'à présent confronté à une multitude de méthodes sans préconisation lui permettant d'appliquer une méthode préférentielle pour analyser son composant.

Ce guide a été élaboré dans le cadre du projet UIC - SET 6 « Guide FDMS pour les composants d'organe de roulement - Fiabilité et sécurité de fonctionnement des essieux montés - roues et essieux-axes, mise en œuvre de la norme EN 50126 », en référence à l'exemple des essieux montés et bogies. Les applications aux essieux montés et aux bogies sont décrites dans le rapport UIC B 169, RP 29.

Un guide décrit à l'intention de l'utilisateur les démarches requises et la manière de mettre en application les méthodes ou outils recommandés. Un guide au sens strict du terme doit permettre à l'utilisateur, autrement dit à l'expert en essieux montés dans notre cas, d'exécuter par lui-même les analyses FDMS pour les composants mécaniques. A l'évidence, l'utilisateur ne deviendra pas pour autant spécialiste du FDMS, mais il acquerra une idée claire de ce qu'il faut faire dans le cadre d'une analyse FDMS. Pour des renseignements plus précis, il saura s'adresser à un spécialiste FDMS.

Pour réaliser l'analyse FDMS, l'équipe de projet a développé plusieurs outils, dont la mise en œuvre se concrétise à travers des fichiers MS Excel :

- EFA\_AFE\_\_\_IFA\_AFI
- FMECA\_AMDEC

Le présent document constitue un guide permettant d'utiliser correctement ces outils et de bien interpréter les résultats.

Cette méthodologie convient également pour d'autres composants mécaniques du matériel roulant.

Outre l'analyse FDMS – et de manière à appréhender aussi les exigences économiques, on a défini une méthode de calcul des coûts de possession (LCC). Un guide LCC « LCC-Guide\_UIC » accompagné des outils LCC sont intégrés dans un document séparé, comprenant les fichiers suivants :

- LCC-calculator\_UIC
- LCC-presentation-charts\_UIC.

Le guide se compose de trois grandes parties :

- l'analyse de risques - représentant le « S » (sécurité) de FDMS (chapitres 5 à 8),
- l'analyse FDM (voir chapitre 9).

## **2. Contexte**

La conception, les exigences « produit » et la maintenance des composants des organes de roulement sont définis dans les référentiels pertinents (par ex. normes EN, fiches UIC, spécifications techniques des opérateurs).

Outre ces documents, Il existe plusieurs standards/normes applicables aux analyses FDMS qui offrent un large éventail de possibilités mais n'aident pas véritablement à sélectionner la méthode pertinente (voir tableau 2). Par ailleurs, les méthodes sont souvent décrites de manière inadéquate pour des experts non initiés avec pour effet d'obtenir des résultats non démontrables ou incomplets.

Jusqu'à maintenant, les composants d'organes de roulement n'ont pas été systématiquement soumis à des analyses selon l'approche de la norme EN 50126 et les valeurs caractéristiques correspondantes n'ont été ni enregistrées ni publiées en termes quantitatifs.

L'approche décrite par la norme EN 50126 est utile pour identifier et évaluer les effets des changements (par ex. utilisation de nouveaux matériaux) sur la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité (FDMS).

Ce document a pour finalité de décrire les étapes à franchir et les méthodes / outils nécessaires à l'exécution des études FDMS en cohérence avec la norme EN 50126 de manière à suivre la fiabilité / sécurité des composants d'organes de roulement du matériel roulant.

L'utilisateur doit prendre en compte les divers paramètres qui influent sur les FDMS de même que sur les conditions de fonctionnement et de maintenance de ces composants.

### 3. Liste des principales références documentaires

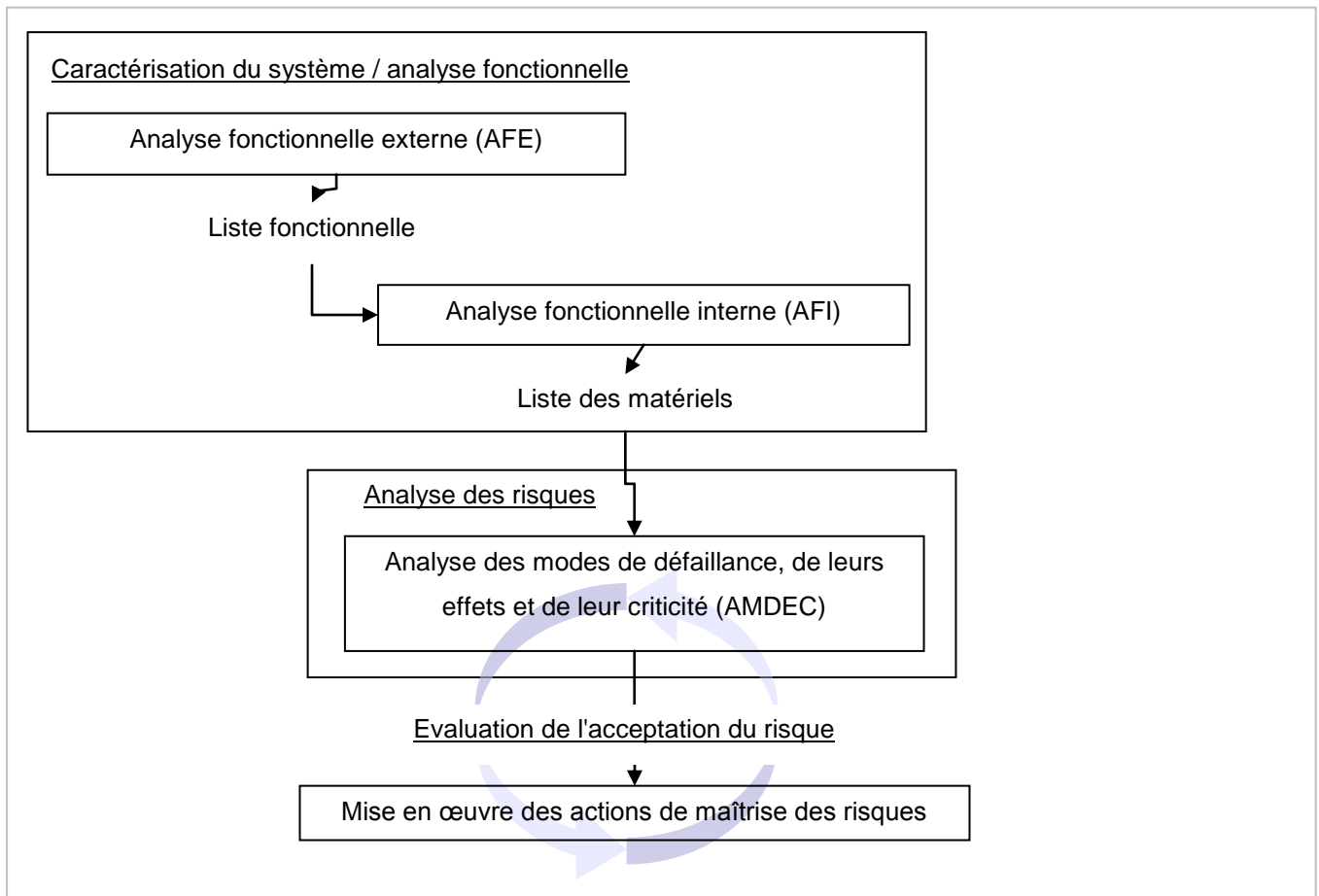
Dans le tableau ci-après, l'utilisateur trouvera une liste de référentiels utiles pour effectuer une analyse FDMS

Référence	Titre
EN 50126	Applications ferroviaires - Spécification et démonstration de la fiabilité, de la disponibilité, de la maintenabilité et de la sécurité (FDMS)
EN 31010	Gestion des risques - Techniques de gestion des risques
EN 60812	Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes - Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDEC), 11-2006
MSC	Méthodes de sécurité communes - Règlement CE 352/2009, Version 24.04.2009 (abrogé avec effet au 21 mai 2015)
MSC	Méthodes de sécurité communes - Règlement 402/2013, Version 30.04.2013

**Tableau 1 - Liste des principales références documentaires pour l'analyse FDMS (mars 2014)**

## 4. Processus d'analyse des risques

Le processus d'analyse des risques met en évidence les phases de travail nécessaires pour couvrir le volet « S » (Sécurité) du FDMS. Le logigramme ci-dessous (Figure 1) visualise le processus d'analyse des risques. Chaque étape du logigramme fait l'objet de commentaires plus détaillés dans les paragraphes qui suivent.



**Figure 1 : Structure du processus d'analyse des risques**

On peut procéder à une analyse des risques pour chacune des 14 phases du cycle de vie de l'objet selon la norme EN 50126, par ex. phase de conception, phase de production ainsi que phase d'exploitation.

Le projet a centré principalement ses activités sur la phase « exploitation et maintenance ».



## 5. Caractérisation du système / analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle a pour objet de caractériser un système par ses fonctions, son environnement, ses conditions de fonctionnement et les éléments (composants).

L'analyse fonctionnelle sera réalisée en deux parties distinctes : l'analyse fonctionnelle externe (AFE) et l'analyse fonctionnelle interne (AFI).

### 5.1. Analyse fonctionnelle externe (AFE) [anglais : EFA]

L'analyse fonctionnelle externe appréhende les frontières du système ainsi que les influences externes sur le système.

L'analyse fonctionnelle externe (AFE) doit être accomplie au démarrage du projet afin d'assurer l'exhaustivité de la liste des fonctions requises pour répondre à un ensemble de besoins.

#### 5.1.1. Objet

Description des frontières du système et des interfaces, sachant que le projecteur est braqué uniquement sur l'objet examiné comme sur une scène de théâtre.

L'analyse fonctionnelle externe (AFE) s'intéresse à l'utilisation envisagée, aux fonctions prévues, aux conditions d'environnement ainsi qu'aux mesures de sécurité existantes.

Chacun aura ainsi acquis une vision claire sur les phases du cycle de vie du système, sur la finalité et le contexte de son fonctionnement prévu.

L'AFE a pour objectif :

- d'identifier l'ensemble des fonctions du système considéré, c'est-à-dire l'essieu monté ;
- d'identifier l'ensemble des contraintes à respecter par le système ;
- de caractériser l'environnement dans lequel le système fonctionne ;
- de caractériser les interfaces avec l'environnement dans lequel le système fonctionne.

Il est à noter que les solutions techniques possibles ou prévues ne doivent pas être prises en compte dans cette analyse. Il convient donc de ne pas se focaliser sur des organes spécifiques de l'essieu monté, mais bien de considérer le système étudié (par ex. l'essieu monté) comme une « boîte noire ».

#### 5.1.2. Méthodologie

En vue de simplifier le travail de l'utilisateur, on a mis au point un format standard fondé sur MS Excel. L'utilisateur doit insérer les données d'entrée dans les cellules bleu clair.

L'analyse fonctionnelle externe englobe les éléments suivants :

- nom du système,
- phases du cycle de vie selon la norme EN 50126 [Version 2000/03],

- utilisation affichée du système,
- fonctions du système (primaire et secondaire),
- contraintes du système (physiques et fonctionnelles),
- interfaces (physiques et fonctionnelles),
- environnement du système,
- procédures de sécurité existantes,
- hypothèses qui déterminent les limites de l'évaluation des risques.

Les parties constituant l'environnement externe représentent le milieu dans lequel le système évolue.

Ces éléments extérieurs peuvent être d'autres organes du matériel roulant (y compris les charges à supporter par l'essieu), ou des éléments distincts du matériel roulant (tels que les rails).

Les fonctions principales identifient les relations que le système établit entre deux ou plusieurs éléments externes. Elles expriment les fonctions réalisées par le système dans le cadre de cette relation.

Les fonctions de contrainte identifient les contraintes imposées au système par certains éléments de l'environnement extérieur.

Par exemple, l'AFE de l'essieu monté qui a été effectuée pour le projet UIC « Fiabilité / sécurité des essieux, roues et boîtes de roulement, mise en œuvre de la norme EN 50126 » figure dans le fichier MS Excel « EFA\_\_IFA\_wheelset.xls ».

## **5.2. Analyse fonctionnelle interne (AFI)**

L'analyse fonctionnelle interne a été menée dans le cadre de ce projet, ce qui a permis de produire un découpage du système en produits (PBS) comme le montre le fichier MS Excel « EFA\_AFE\_\_IFA\_AFI.xls ».

### **5.2.1. Objet**

L'analyse fonctionnelle interne (AFI) subdivise le système en ses composants. Il en résulte une liste structurelle d'équipements qui donne un aperçu du système complet.

Le système dans sa globalité ou les composants pris individuellement permettent de remplir les fonctions recensées à travers l'analyse fonctionnelle externe (AFE) (voir paragraphe 5.1). Cette liste de composants (liste structurelle d'équipements) servira de données d'entrée pour l'analyse des modes de défaillance, leurs effets et leur criticité (voir paragraphe 6.1).

### 5.2.2. Méthodologie

Le découpage du système en sous-systèmes / composants sera réalisé selon une approche systématique descendante, à l'image d'un arbre déployant ses branches. Il appartient à l'utilisateur de fixer le nombre de niveaux à distinguer en fonction de la complexité du système.

Généralement, le niveau 1 représente le niveau le plus élevé de définition du système. Dans la plupart des cas, 2 ou 3 niveaux suffisent pour identifier un composant.

L'utilisateur pourrait utiliser le fichier MS Excel « EFA\_IFA.xls », fourni dans le présent guide. Un format approprié est proposé sur la feuille « IFA ». L'utilisateur se référera à la liste structurée des équipements (PBS) présentée dans le fichier « EFA\_IFA.xls ». La PBS définie dans le fichier EFA\_IFA.xls pour les essieux montés a été utilisée comme base pour traiter les défauts dans le fichier MS Excel AMDEC, comme on peut le voir dans l'exemple donné pour les essieux montés à travers le projet UIC.

L'AFI figurant dans le fichier joint MS Excel constitue un élément d'entrée de l'AMDE et des LCC (coûts de possession), voir Annexe 1.

Par exemple, l'AFI de l'essieu monté qui a été effectuée pour le projet UIC « Fiabilité / sécurité des essieux, roues et boîtes de roulement, mise en œuvre de la norme EN 50126 », figure dans le fichier MS Excel « EFA\_AFE\_\_IFA\_AFI\_\_Radsatz\_Essieu\_Wheelset.xls » (voir Annexe 2).

Indication importante pour le cas spécial de l'essieu-axe :

- l'essieu constitue un seul composant mais celui-ci comporte différentes zones qui peuvent être affectées par différents types de défaillance. Pour cette raison, il a été décidé de distinguer 8 zones différentes qui sont traitées chacune comme un seul composant normal.

On peut également appliquer cette procédure à d'autres composants lorsque cela apparaît approprié. Cet exemple illustre la flexibilité de la méthode.

## 6. Analyse des risques

A ce stade, on identifie les risques, on apprécie leur acceptabilité et, si besoin est, on définit les actions nécessaires pour rendre le risque acceptable.

L'application de la méthode AMDEC est préconisée et décrite pour les systèmes à dominante mécanique tels que les organes de roulement ou les essieux montés.

Après avoir appréhendé le système (analyses fonctionnelles) et analysé ses défaillances (AMDEC), on classera les défauts par niveau de criticité appelé « *Risk Priority Number* » (RPN).

Il a été décidé de réaliser une analyse de risques de type AMDEC dans la mesure où elle constitue la méthode la plus adéquate pour un système purement mécanique.

Les résultats de cette analyse permettront à l'utilisateur de montrer que les risques liés à la défaillance du système étudié sont maîtrisés, ou le cas échéant de mettre en évidence la fonction / les composants appelant des actions d'amélioration.

### 6.1. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

L'AMDEC est une méthode d'analyse et d'évaluation des risques.

Le fichier FMECA\_AMDEC suivant accompagné de la liste des définitions de défaillances peut être utilisé pour les essieux montés (voir Annexe 3).

L'AMDEC est une méthode d'analyse et d'évaluation des risques. A toutes fins utiles, on trouvera en annexe un fichier Excel « FMECA\_AMDEC.xls » permettant de déterminer les paramètres utiles pour l'analyse. Illustrées à partir de l'exemple de l'essieu monté, les instructions données plus bas visent à assurer une utilisation correcte de l'outil.

NB : ce fichier Excel demande à l'utilisateur d'accepter les macros. Ces macros peuvent être acceptées par l'utilisateur.

Notamment pour les essieux montés, on peut utiliser le fichier FMECA\_AMDEC avec la liste des définitions des défaillances.

#### 6.1.1. Objet

L'AMDEC a pour finalité :

- de recenser exhaustivement toutes les défaillances des composants d'un essieu monté (identifiées lors de l'analyse fonctionnelle interne (AFI), voir paragraphe 6.2) et leurs causes ;
- d'identifier les conséquences de ces défaillances aux divers niveaux fonctionnels du train et de les présenter de manière transparente et exhaustive ;

- de déterminer l'importance, appelée « criticité », de chaque défaillance en fonction de son influence sur le fonctionnement normal ou sur le niveau de performance du train et d'en évaluer l'impact sur la fiabilité ou sur la sécurité du train ;
- de calculer le « Risk Priority Number » (RPN) pour chaque défaillance définie et le situer par rapport au RPN limite fixé par l'utilisateur lui-même. Les défaillances dont le RPN dépasse le RPN limite présente la criticité la plus élevée par rapport aux autres défaillances ;

L'utilisateur a toute latitude pour utiliser d'autres outils AMDEC, mais l'outil intégré au présent guide est déjà préparé pour les essieux montés et leurs composants. La description de cet outil figure dans les paragraphes ci-après.

### 6.1.2. Méthodologie

Le fichier MS Excel « FMECA\_AMDEC\_\_Wheelset.xls » comprend six feuilles :

- la feuille « exemple » : illustration d'une cascade de défaillances dont l'effet constitue une cause primaire de la défaillance suivante du tableau et se voit attribuer une ligne spécifique dans le tableau AMDEC ;
- la feuille « AMDEC » : feuille sur laquelle l'utilisateur procède à l'évaluation ;
- les feuilles « sévérité » (gravité), « détectabilité », « fréquence » comportent les séries de valeurs à appliquer pour l'évaluation des défaillances définies. Pour assurer la validité des comparaisons, l'utilisateur ne doit pas modifier le contenu de ces trois feuilles ;
- la feuille intitulée « Légende » contient des explications sur la signification des différentes couleurs de cellule ainsi que plusieurs plages de valeurs pour renseigner les cellules choisies.

Pour lancer une nouvelle évaluation, l'utilisateur ouvre la feuille « FMECA » (AMDEC).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Component:		Güterwagensatz Klotzgebremst mit OPE Rad, 22,5 t Essieu de wagons à marchandises, freins semelles avec un roue monobloc, 22,5 t						Existing System:							
2			Number of defined failures:		165				Risk Priority Number (RPN) limit for intensive proofings:						250	
	Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	Failure root cause A	Failure B	Direct consequence of the failure C	comments	Severity 1: B 2: C	Detectability 1: B 2: C & A	Frequency 1: B 2: A	Risk priority numl				
3	Wheelset	Axle	Transition radius	Transition radius	unufficient geometrical quality (quality of production)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
46	Wheelset	Axle	Transition radius	Transition radius	unshufficient quality of material (Quality of production)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
47	Wheelset	Axle	Transition radius	Transition radius	Overloading of the wagon	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
48	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	crack	axle broken in the corresponding section	derailment					0				
49	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	not reported derailment in the past	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
50	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	corrosion	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
51	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	mechanical damage (mounting / dismounting)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
52	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	overloading of the wagon	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
53	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	Surface roughness	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
54	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	unshufficient geometrical quality (quality of production)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
55	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	unshufficient quality of material (quality of production)	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding					0				
56	Wheelset	Axle	Wheel seat (axle)	Wheel seat (axle)	overloading by dynamic effects	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding	little	3	low	6	low: relative few failures	3	54		
57	Wheelset	Axle box	Axle box	Bearing	Mounting procedure	bearing mechanical damages	hot axle box					0				
58	Wheelset	Axle box	Bearing	Bearing	bearing mechanical damages	hot axle box	broken journal					0				
59	Wheelset	Axle box	Bearing	Bearing	Fatigue	bearing mechanical damages	hot axle box					0				
60	Wheelset	Axle box	Bearing	Bearing	Incorrect handling	bearing mechanical damages	hot axle box					0				
61	Wheelset	Axle box	Bearing	Bearing	mechanical shock	bearing mechanical damages	hot axle box					0				
62	Wheelset	Axle box	Bearing	Bearing	bearing mechanical											

Tableau 2 - Affichage écran de la feuille « FMECA » (les valeurs d'entrée sont des exemples)

Le format des cellules est identique sur l'ensemble des feuilles :

- cellules grisées : titre ou description
- cellules blanches : résultats. Comme ces cellules contiennent des formules, l'utilisateur ne modifie pas le contenu
- cellules bleu clair : cellules de saisie

Dans cet exemple applicable aux essieux montés, les colonnes comportent des cellules blanches, parce que les huit premières colonnes sont déjà renseignées. La colonne « Component level IV » apparait en couleur pour indiquer clairement les différents segments / parties de l'essieu monté.

### 6.1.3. Résumé des phases opératoires pour une AMDEC

- Dans la cellule « B1 » l'utilisateur insère le nom du système à analyser par l'AMDEC
- Dans les colonnes « A » à « D », l'utilisateur subdivise le système pour distinguer ses différents composants.
- Dans les colonnes « E » à « G », l'utilisateur définit les défaillances avec leurs causes primaires et leurs conséquences pour chaque composant. La colonne « H » donne la possibilité d'inscrire des commentaires.
- Dans la colonne « H », il est possible de formuler des commentaires
- Dans la cellule « O2 », l'utilisateur fixe sa limite en indiquant son propre RPN

- Dans la colonne « J », l'utilisateur évalue la sévérité de chaque type de défaillance conformément à la feuille « sévérité », en choisissant un nombre compris entre 1 et 10 dans les cellules à cocher de la colonne « J ».
- Dans la colonne « L », l'utilisateur évalue la détectabilité de chaque type de défaillance conformément à la feuille « détectabilité », en choisissant un nombre compris entre 1 et 10 dans les cellules à cocher de la colonne « L ».
- Dans la colonne « N », l'utilisateur évalue la fréquence de chaque type de défaillance conformément à la feuille « fréquence », en choisissant un nombre compris entre 1 et 10 dans les cellules à cocher de la colonne « N ».

NB : la description du RPN et ses valeurs figurent au chapitre 6.1.4.5.

Le RPN est résultat donné par le produit des valeurs des 3 colonnes « J », « L » et « N » et figure en colonne « O »

Pour les défauts excédant le RNP limite auto-défini (voir cellule « O2 »), la couleur de la cellule passe au rouge et signale à l'utilisateur qu'il doit suivre de près cette défaillance. Pour chaque défaillance jugée inacceptable ( $RPN > RPN \text{ limite}$ ), des actions de maîtrise des risques s'imposent de manière à rendre la défaillance acceptable ( $RPN < RPN \text{ limite}$ ). Le RPN limite a pour objet de pointer les défaillances caractérisées par le RPN le plus élevé. Les mesures prises contre les défaillances présentant le RPN le plus élevé auront l'impact le plus fort en termes d'amélioration du système.

### Comparer le RPN d'un système existant avec celui d'un nouveau système

- Pour améliorer le système, l'utilisateur définit les mesures visant à réduire le risque de défaillance dans les colonnes « Q » (Action) et « R » (Type) (maîtrise des risques).
- Par rapport à ces mesures nouvellement définies, l'utilisateur évalue la sévérité, la détectabilité et la fréquence dans les colonnes « U », « W », et « Y » avec les nouveaux RPNs de la colonne « Z ».
- Si le RPN (en colonne AA) est inférieur au RPN existant, cela démontre que les nouvelles mesures améliorent le système.

#### 6.1.4. Définition détaillée du contenu de la feuille AMDEC

##### 6.1.4.1. Identification d'un composant analysé

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)

Tableau 3 - Découpage en composants (NB : « abutment » = collerette)

La colonne « niveau de composant I » pointe sans équivoque le composant sur lequel l'analyse doit mettre l'accent.

Le niveau 1 représente le niveau le plus élevé de la définition du système, alors que le niveau 4 correspond au niveau le plus bas. Souvent les niveaux 2 ou 3 peuvent suffire à identifier un composant.

Dans l'exemple ci-dessus, seulement 3 niveaux sont requis pour identifier un composant. Le niveau 4 peut revêtir une importance pour les systèmes plus complexes.

##### 6.1.4.2. Identification des modes de défaillance et de leurs causes primaires

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	1 Failure root cause A	2 Failure B
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)	corrosion	crack
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)	mechanical damage	crack

Tableau 4 - Cause primaire de la défaillance et défaillance

Il est possible qu'une défaillance soit induite par différentes causes primaires. Dans ce cas, il importe, pour chaque cause primaire de cette défaillance, d'ajouter une ligne séparée, afin de déterminer sa criticité.



Dans l'exemple susmentionné, les fissures peuvent être provoquées par 2 causes primaires (corrosion et impact mécanique). Deux lignes doivent donc être renseignées pour l'évaluation du risque.

#### 6.1.4.3. Identification des conséquences directes du mode de défaillance

Component level I	Component level II	Component level III	Component level IV	1 Failure root cause A	2 Failure B	3 Direct consequence of the failure C	comments
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)	corrosion	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding section	
Wheelset	Axle	Abutment (axle)	Abutment (axle)	mechanical damage	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding section	

**Tableau 5 - Conséquence directe d'une défaillance**

Les colonnes « Direct consequence of a failure » décrivent l'impact de la défaillance analysée. Parfois la colonne « Comments » pourra donner un surcroît d'informations pour comprendre les « conséquences directes d'une défaillance ».

Une défaillance peut ne pas produire d'impact direct et/ou visible. Toutefois, des facteurs tels que le « temps » ou la « dégradation du composant » peuvent être pris en compte dans la colonne « Direct consequence of a failure », afin d'identifier une conséquence.

Dans l'exemple susmentionné, on note qu'une fissure induira à long terme une rupture de l'essieu.

#### 6.1.4.4. Succession de défaillances et leurs effets

Définition du *mode de défaillance* au sens de la norme EN 50126 par 3.13 : « conséquences prévues ou observées d'une cause de défaillance sur une entité donnée, relatives aux conditions d'exploitation à l'instant de la défaillance. »

En d'autres termes, le composant n'est plus fonctionnel ou n'est plus capable de remplir sa fonction dans les conditions opérationnelles auxquelles il est destiné. Selon cette définition, la dégradation de la QUALITE d'un composant qui continue à assurer sa fonction n'est pas une DEFAILLANCE.

Cela dit, l'approche adoptée dans ce guide pour des composants mécaniques est différente. Afin d'établir une évaluation du facteur PRN (Risk Priority Number) pour chacune des conditions dégradées du composant, l'analyse des effets est également effectuée pour des conditions dégradées quant à la qualité du composant selon la même approche/procédure que celle applicable aux défaillances REELLES (au sens strict du terme dans la norme EN 50126).

En ce sens, l'étude menée dans le cadre du projet a donc permis de recenser et d'analyser un ensemble de modes de défaillance qui, en raison d'une dégradation dans la durée, génèrent progressivement des défaillances plus graves. Autrement dit, certains événements analysés

comme défaillance dans l'AMDEC deviennent, à l'analyse, une cause primaire de défaillance pour d'autres modes de défaillance (voir cascade de défaillances ci-après).

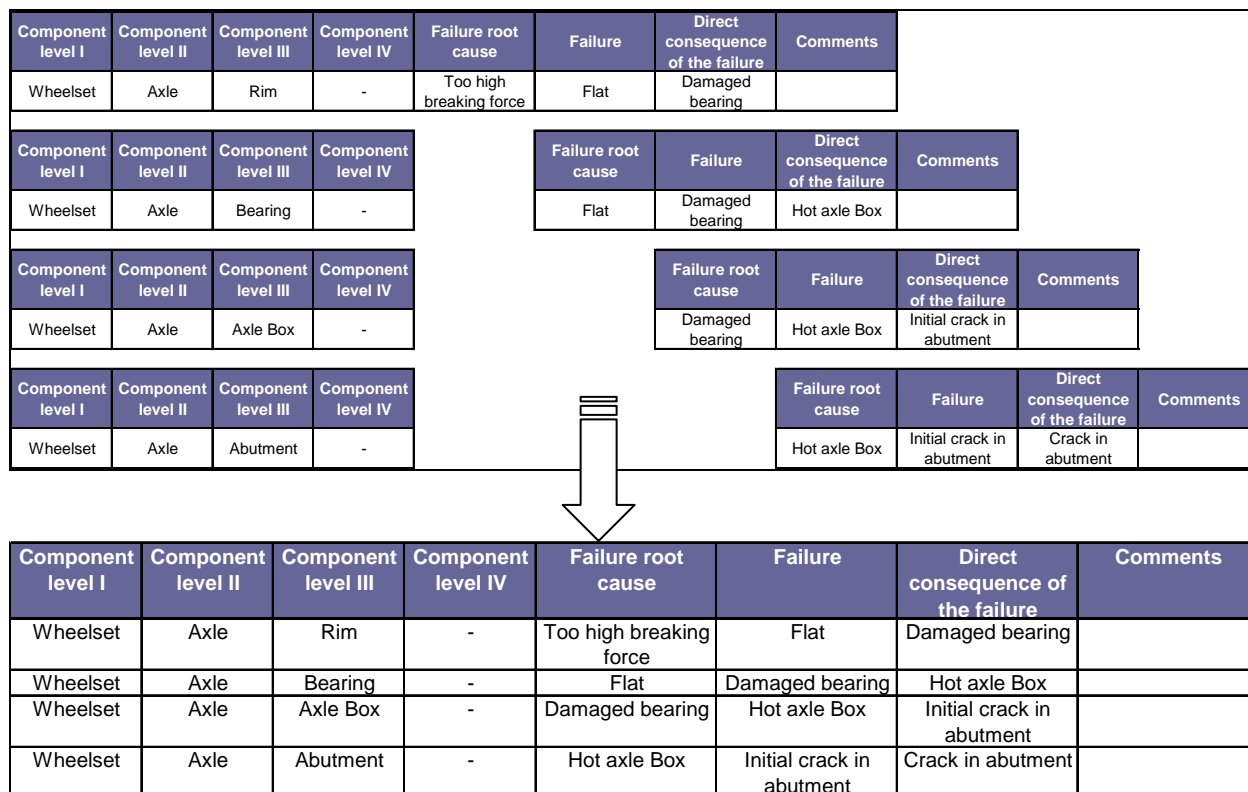


Tableau 6 - Exemple de cascade de défaillances

#### 6.1.4.5. Attribution d'un niveau de criticité par le RPN (Risk Priority Number)

Un Risk Priority Number (RPN) sera calculé pour chaque ligne d'analyse. Il permet de caractériser le niveau de criticité de la défaillance analysée (importance des conséquences de la défaillance analysée)

Le RPN est calculé à partir du produit des 3 paramètres suivants :

- Sévérité **S (gravité)**
  - Détectabilité **D**
  - Fréquence **F**
- RPN = S x D x F**

Les définitions des niveaux de ces 3 paramètres se trouvent dans les trois feuilles « Sévérité », « Détectabilité », « Fréquence », ainsi que à l'Annexe 3 du présent document.

Component level IV	1 Failure root cause A	2 Failure B	3 Direct consequence of the failure C	Severity B		Detectability B		Frequency B	
Abutment (axle)	mechanical damage	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding section	little	3	moderate	5	low: relative few failures	3
Bearing	Fatigue	bearing mechanical damages	hot axle box	little	3	low	6	very low: relative very few failures	2
Axlebox body (including rear and front cover)	not reported derailment in the past	mechanical damages	broken housing	little	3	low	6	little - failure is implausible	1
Rim	exceeding brake energy input (e.g. misuse of park brake / brake incidente)	exceeding internal stress	crack	very low	4	little	8	low: relative few failures	3

**Tableau 7 - Exemple de calcul du RPN pour quatre défaillances séparées (les valeurs d'entrée sont ici à titre d'exemple)**

L'évaluation des défaillances fondée sur ces trois paramètres s'effectue selon la procédure suivante :

a) Evaluation de la sévérité (gravité) :

L'évaluation de la sévérité doit être réalisée dans l'ordre décroissant suivant :

- on définit d'abord le niveau de sévérité sur la base du contenu de la colonne « défaillance » ;
- en deuxième lieu, on doit utiliser la colonne « conséquence directe de la défaillance » pour établir une distinction entre 2 lignes qui ont des conséquences différentes en termes de sévérité ;
- en outre, si la cause primaire (colonne « cause primaire de défaillance ») fournit des informations complémentaires, elles peuvent être prises en compte également pour définir la sévérité.

b) Evaluation de la détectabilité :

L'évaluation de la détectabilité doit être réalisée dans l'ordre décroissant suivant :

- on définit d'abord le niveau de sévérité sur la base du contenu de la colonne « détectabilité » ;
- ensuite, il faut prendre en compte la détection de la cause primaire (colonne « cause primaire de défaillance ») et la détection des conséquences directes de la défaillance (colonne « conséquences directes de la défaillance »).

c) Evaluation de la fréquence :

- on définit tout d'abord le niveau de fréquence sur la base du contenu de la colonne « défaillance » ;
- ensuite, il faut prendre en compte la cause primaire de la défaillance (colonne « cause primaire de défaillance »).

L'évaluation de chaque paramètre élémentaire peut se fonder sur des valeurs qualitatives (par ex. évaluation d'experts) ou des valeurs quantitatives, si disponibles ; les différences d'approche n'affectent pas la signification de la valeur RPN qui en résulte.

Pour les essieux montés, les définitions des défaillances sont déjà préétablies par le projet UIC « Fiabilité/sécurité des essieux, roues et boîtes d'essieu, mise en œuvre de la norme EN 50126 », voir fichier « FMECA\_AMDEC\_\_Wheelset.xls ».

Pour les autres composants, l'utilisateur doit définir les défaillances possibles avant de procéder à l'évaluation.

#### **6.1.4.6. Identification du RPN limite**

Le choix du RPN limite «  $RPN_L$  » ne présente pas de pertinence pour le processus d'évaluation. Il peut être fixé par chaque utilisateur individuellement. L'objectif consiste exclusivement à identifier visuellement les défaillances présentant le RPN le plus élevé en tant que référence pour définir d'éventuelles mesures d'amélioration ciblées. De la sorte, les résultats ne donnent pas une valeur absolue à l'utilisateur, mais une valeur relative en fonction des autres modes de défaillance analysés.

Cette limite a pour effet de braquer le projecteur uniquement sur les défaillances les plus marquantes, elle ne doit pas être considérée comme un seuil.

Le processus adopté pour identifier un  $RPN_L$  adéquat dans le cadre du projet UIC « Fiabilité/sécurité des essieux, roues et boîtes de roulement, mise en œuvre de la norme EN 50126 », est décrit dans le rapport du projet UIC B 169/RP 29, où le  **$RPN_L$**  a été fixé à 250.

## 7. Evaluation de l'acceptation du risque et mesures d'amélioration

### 7.1. Généralités

Les défaillances présentant un RPN supérieur au RPN<sub>L</sub> « auto-défini » sont considérées comme « non acceptées » et ce indépendamment des conséquences de la défaillance. Il importe de recenser et d'évaluer de la même manière les actions visant à réduire le RPN en calculant le RPN pour le système amélioré.

Dans l'exemple artificiel ci-après, un changement de fournisseur ou de matériau pour le composant améliore le paramètre « fréquence », ce qui rend acceptable la criticité du risque inhérente à la défaillance du composant : le RPN chute en passant de 36 à 18.

Component level IV	1 Failure root cause A	2 Failure B	3 Direct consequence of the failure C	Severity B	Detectability B	Frequency B	Risk priority number	Action	Type	Severity B	Detectability B	Frequency B	Risk priority number						
Abutment (axle)	mechanical damage	crack	possible propagation in the long term, axle could break in the corresponding section	little	3	moderate	5	low: relative few failures	3	45				0					
Bearing	Fatigue	bearing mechanical damages	hot axle box	little	3	low	6	very low: relative very few failures	2	36	new bearing	quality	little	3	low	6	little - failure is implausible	1	18
Axlebox body (including rear and front cover)	not reported derailment in the past	mechanical damages	broken housing	little	3	low	6	little - failure is implausible	1	18									0
Rim	exceeding brake energy input (e.g. misuse of park brake / brake incidents)	exceeding internal stress	crack	very low	4	little	8	low: relative few failures	3	96									0

**Tableau 8 - Exemple de changement de RPN pour une défaillance à la suite d'une mesure d'amélioration**

Différents types d'action peuvent être mis en œuvre pour améliorer les paramètres de « sévérité », de « fréquence » et de « détectabilité ». Ces mesures portent sur les registres :

- maintenance préventive,
- qualité,
- conception,
- exploitation.

### 7.2. Mesures de maintenance préventive

Des mesures de maintenance préventives peuvent être prises pour améliorer la « détectabilité » et/ou « la fréquence ».

Exemples :

- un contrôle visuel ou la mesure d'une dégradation peut permettre d'améliorer le paramètre de détectabilité ;
- le remplacement d'une pièce usée après un kilométrage préétabli peut permettre d'améliorer le paramètre « fréquence ».

### **7.3. Action sur la Qualité**

Une action sur la qualité peut être envisagée afin d'améliorer le paramètre « fréquence » (diminution de la fréquence des pannes).

Exemples :

- des contrôles qualité effectués avant montage des équipements sur les trains vont améliorer le paramètre de fréquence
- un changement de produit / fournisseur peut également permettre d'améliorer la qualité d'un équipement et donc d'améliorer le paramètre de fréquence.

### **7.4. Action sur la conception**

Une action sur la conception même du matériel peut être envisagée afin d'améliorer les paramètres de « sévérité », de « fréquence » ou de « détectabilité ».

Exemples :

- un changement de matériau pour un matériau plus fiable est susceptible d'améliorer le paramètre de fréquence ;
- la mise en place d'une barrière physique afin d'éviter la propagation d'une défaillance est susceptible d'améliorer le paramètre de sévérité ;
- la mise en place d'une remontée de défaut est susceptible d'améliorer le paramètre de détectabilité.

### **7.5. Action sur l'exploitation**

Des règles d'exploitation peuvent être envisagées afin d'améliorer les paramètres de "sévérité" et de « détectabilité ».

Exemples :

- un contrôle avant le départ est susceptible d'améliorer le paramètre de détectabilité ;
- le non départ d'un train en cas de défaillance constatée est susceptible d'améliorer le paramètre de sévérité.

Les actions identifiées sont décrites dans les colonnes Q et R.

A partir des mesures identifiées, l'AMDEC doit être répétée dans les colonnes T et Y (« Nouveau système »). L'outil calcul le nouvel RPN pour l'amélioration ainsi mise en œuvre.

L'utilisateur décide dans la colonne AA si l'amélioration observée est suffisante ou pas encore suffisante.

## 8. Calcul FDM

L'abréviation « FDM » signifie : Fiabilité (F), Disponibilité (D) et Maintenabilité (M). La sécurité résiduelle (S) est déjà traitée dans les chapitres 6 et 7.

Le présent chapitre décrira le calcul FDM.

Le calcul FDM peut s'effectuer pour chacune des 14 phases de cycle de vie du système. Pour les nouveaux systèmes, on effectue cette opération principalement lors des phases de conception et de développement. Pour les systèmes existants, ce calcul est réalisé principalement lors des phases de production ou d'exploitation.

### 8.1. Informations générales sur l'outil de calcul

L'outil de calcul est appelé « calculateur FDM UIC ». Il s'agit d'un outil MS Excel qui se présente sous la forme du fichier RAM-calculator.xls.

Le calculateur FDM UIC se compose de 4 feuilles pour l'entrée des données et d'une feuille pour les informations (« Info\_Operating hours »).

Le fichier calculateur FDM suivant peut être utilisé spécialement pour les essieux montés (voir Annexe 5).

Le format des cellules est identique sur l'ensemble des feuilles :

- cellules grisées : Titre ou description
- cellules blanches : Résultats. Etant donné que ces cellules contiennent des formules, l'utilisateur n'en modifie pas le contenu.
- cellules bleu clair : cellules de saisie
- Le contenu figure en trois langues : allemand (noir), anglais (rouge) et français (bleu)

Afin d'empêcher l'utilisateur d'écraser les cellules blanches ou grises par mégarde, toutes les cellules à l'exception des cellules bleu clair sont verrouillées. Comme il n'existe pas de mot de passe, l'utilisateur a toute latitude pour déverrouiller ces cellules.

### 8.2. Procédure à suivre pour calculer les FDM à l'aide du calculateur FDM UIC

Après ouverture du « RAM-calculator\_UIC » (calculateur FDM UIC), l'utilisateur peut démarrer en insérant un contenu dans l'un des tableaux. Il est recommandé de démarrer avec le tableau « Operation\_Data ».

#### 8.2.1. Feuille « Operation\_Data »

Sur ce tableau, l'utilisateur enregistre les données d'exploitation pour un maximum de quatre objets (cellules B14 à B17) et pour les trois unités « km/an », « Tbkman » et « h/an ».

Cette approche est applicable à de nombreux composants mécaniques du matériel roulant, sachant certains adaptations apparaissent nécessaires pour d'autres composants (par ex. systèmes de toilettes), cellules K14, K18 et 22.



#### 8.2.1.1.1. Calcul des heures de fonctionnement

- Il importe de prendre en compte les paramètres suivants pour le calcul : OHJ (operation hours J) : temps de parcours du véhicule de l'origine à la destination, pour les wagons, cela inclut les temps de manœuvre ainsi la durée des opérations de livraison au client / récupération du véhicule auprès du client.
- OHL (heures de fonctionnement pour chargement et déchargement) : temps nécessaire au chargement/déchargement. Par exemple, le temps qui s'écoule depuis la fourniture du wagon en vue du chargement jusqu'à la récupération du véhicule auprès du client (le temps de parcours OHA court après la prise en charge). Ce paramètre s'applique seulement aux wagons.
- OHML : temps nécessaire pour la remise et la récupération des véhicules auprès du client pour les opérations de maintenance programmées en atelier, y compris le temps nécessaire à la maintenance sous véhicule en exploitation (MIS), étant donné que les essieux montés sont installés sur le véhicule. La procédure suivie sera identique pour d'autres pièces de rechange montées sur le véhicule.
- OHPR : temps nécessaire pour la mise à disposition des véhicules tels que voitures et rames, par exemple pour ravitailler, nettoyer, préchauffer etc.
- N : nombre de parcours simples, le parcours aller et le parcours retour constitueront une rotation complète et compteront pour 2.
- K : nombre d'arrêts de service pour équiper les voitures...
- M : nombre d'interventions de maintenance

heures de fonctionnement / an d'un wagon :  $= n * (OHJ + OHL) + m * OHML$

heures de fonctionnement / an d'une voiture :  $= n * OHJ + k * OHPR + m * OHML$

Les heures de fonctionnement d'un véhicule ferroviaire isolé peuvent être :

- extraites du compteur kilométrique du véhicule ;
- estimées à partir des données d'exploitation du train (numéro de train et destination) ou de son horaire.

#### 8.2.1.1.2. Estimation d'expert pour les heures de fonctionnement

En l'absence de données disponibles, il est possible d'appliquer la formule suivante :

- DIST [km] : distance moyenne entre l'origine et la destination selon le réseau ferré
- v [km/h] : vitesse moyenne de croisière de l'opérateur ferroviaire
- r [...] : nombre de parcours simples par an (le parcours aller et le retour constitueront un aller-retour complet et compteront pour 2)
- MIS-DC [h] : temps consacré à la maintenance sous véhicule en exploitation (MIS) y compris mise à disposition et récupération du véhicule

$$h \text{ de fonctionnement/an} = \text{DIST} / v * r + \text{MIS-DC}$$

### 8.2.1.2. Détermination du nombre de composants

Le nombre de composants est saisi dans le deuxième tableau de la feuille MS Excel « operation data » (données d'exploitation).

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

		Anzahl Einheiten Number of units Nombre de composant						
		Komponente, inklusive derjenigen in der schweren Instandhaltung Component, including those being in stock in and in heavy maintenance Composant, inclus le nombre défini sur stock et dans le maintien lourd	Gesamt* Totale*	Betreiber 1 Operator 1 Opérateur 1	Betreiber 2 Operator 2 Opérateur 2	Betreiber 3 Operator 3 Opérateur 3	Betreiber 4 Operator 4 Opérateur 4	Betreiber 5 Operator 5 Opérateur 5
Mengengerüst Quantity structure Cadre estimatif	Eurofima		1.800	1.000	800			
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	Radsatz Wheelset	2.500	500	2.000			
	Freight 22.5 to thermostable	Essieu monté	6.200	200	3.000	3.000		
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable		4.000				4.000	
	Eurofima		1.800	1.000	800			
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	Radsatzwelle axle	2.500	500	2.000			
	Freight 22.5 to thermostable	Essieu - axe	6.200	200	3.000	3.000		
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable		4.000				4.000	
	Eurofima		3.600	2.000	1.600			
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	Radscheibe wheel	5.000	1.000	4.000			
	Freight 22.5 to thermostable	Roue	12.400	400	6.000	6.000		
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable		8.000				8.000	
	Eurofima		3.600	2.000	1.600			
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE)	Radsatzlager Bearings	5.000	1.000	4.000			
	Freight 22.5 to thermostable	Palier	12.400	400	6.000	6.000		
	Freight 22.5 to not thermostable (ORE) AND Freight 22.5 to thermostable		8.000				8.000	
	Eurofima		0					

Operation Data

Availability

Availability

Info

Operation hours

**Tableau 10 - Deuxième capture d'écran - feuille « Operation\_data » (les valeurs entrées correspondent à des exemples)**

### 8.2.2. Feuille « R\_Reliability »

Les taux de disponibilité (colonnes BG à BM) se calculent à partir des données d'exploitation relatives aux types de défaillances définis (colonne D).

Le tableau comprend 71 colonnes, de A jusqu'à la colonne BS.

Il est possible d'insérer les données suivantes pour un maximum de 5 opérateurs : « période considérée », nombre d'années, « nombre de défaillances pendant cette période » et « nombre total d'objets en cours de maintenance » (« nombre total d'objets en cours de maintenance » est uniquement à des fins d'information, ces chiffres n'ayant aucun effet sur la fiabilité qui en résulte), voir colonnes H à AJ.

R - Reliability / Fiabilité															
<b>Zuverlässigkeit / Fiabilité</b> Berechnung der Zuverlässigkeit (Spalten A bis AB) und der Verfügbarkeiten (Spalten AD bis AL). Die Zuverlässigkeit wird als Mittelwert, Maximalwert und Minimalwert aller Betreiber berechnet. Calcul de la disponibilité et la fiabilité (colonnes A à AB) (voir AD-AL). La fiabilité est calculée comme le moyen, le valeur maximale et minimale de tous les opérateurs.															
Anleitung: 1) Ausfüllen der orange gefärbten Zellen. Ggf. befindet sich eine zusätzliche Beschreibung des Inhalts in den gelben Zellen unter der Spaltenüberschrift. de Betreibern und Zeiträumen und Anzahl der Fehler in diesen Zeiträumen in den Spalten F bis G einschreiben. 2) Sämtliche Zellen in blauer oder grüner Farbe sind zu füllen. (S) ist notwendig, eine detaillierte Beschreibung des Inhalts zu geben in den Zellen unter der Spaltenüberschrift. Par opérateur pour la période définir le nombre d'erreurs et le durée de la période sont entrés dans les colonnes F à G.															
Gesamt / Total				Betreiber 1 / Operator 1				Betreiber 2 / Operator 2							
Radetz - Spur / Type of wheelset	Komponente / Component	Beschreibung des Fehlertyps / Description of the type of failure	Zeitraum / Zeitraum	Anzahl Fehler / Anzahl Fehler	Dauer / Dauer	Dauer / Dauer	Dauer / Dauer	Anzahl Fehler / Anzahl Fehler	Zeitraum / Zeitraum	Anzahl Fehler / Anzahl Fehler	Dauer / Dauer	Dauer / Dauer	Dauer / Dauer	Anzahl Fehler / Anzahl Fehler	Anzahl Fehler / Anzahl Fehler
Freight 22.5 to not thermosettable (CRS)	Radscheibe / Wheel	Anzahl Vollräder ausgetauscht wegen ZPF in Zeitraum X Number of axle wheels sorted out due to ZPF in the period X Nombre des roues monoblocs pour ZPF en période X	1,5	5	2	01.01.2012	31.12.2012	1,0	2	1.000	30	2010	2,0	3	800
Freight 22.5 to not thermosettable (CRS)	Radscheibe / Wheel	Anzahl Vollräder ausgetauscht wegen ZPF in Zeitraum X Number of axle wheels sorted out due to ZPF in the period X Nombre des roues monoblocs pour ZPF en période X	2,0	5	2	01.01.2013	31.12.2013	1,0	1	500	20	2010	3,0	4	2.000
Freight 22.5 to not thermosettable (CRS)	Radscheibe / Wheel	Anzahl Vollräder ausgetauscht wegen ZPF in Zeitraum X Number of axle wheels sorted out due to ZPF in the period X Nombre des roues monoblocs pour ZPF en période X	1,5	1	2	01.01.2011	31.12.2011	2,0	0	200	5	01.01.2011	1,0	1	3.000
Freight 22.5 to not thermosettable (CRS) AND Freight 22.5 to thermosettable	Radscheibe / Wheel	Anzahl Vollräder ausgetauscht wegen ZPF in Zeitraum X Number of axle wheels sorted out due to ZPF in the period X Nombre des roues monoblocs pour ZPF en période X	0,0	0	0					700	0			5.000	

**Tableau 11 - Première capture d'écran pour la feuille « R\_Reliability » (les valeurs d'entrée sont des exemples)**

Cette feuille est structurée de la façon suivante :

- Colonne C : définition du composant
- A noter qu'il est possible de définir jusqu'à quatre types d'objets sur la feuille 'Operation\_data'. A partir de ces objets, le calcul de fiabilité s'effectue en parallèle, voir numérotation de la colonne A. Si l'on compare les quatre types d'objets, le composant choisi en colonne C doit être le même.
- Colonne D : définition du type de défaillance influant sur la fiabilité et finalement la disponibilité du composant
- Colonnes H à AF : enregistrement des données suivantes, période considérée, nombre d'années, nombre de défaillances pendant cette période pour un maximum de cinq opérateurs. Les résultats des colonnes E et F seront utilisés pour les calculs ultérieurs.
- Colonnes AN : définition de l'unité (« h », « km », « tbkm ») pour calculer le résultat en termes de fiabilité
- Sauf la colonne AN, toutes les autres colonnes comprises entre AK et BM seront calculées automatiquement.
- Colonnes BN : l'unité décrivant la valeur de fiabilité MTBF (durée moyenne entre défaillances) est fixée, en situation standard, l'expression sera en « années ».
- Colonnes BR : le chiffre moyen retenu pour la fiabilité souhaitée est fixé ici.

A partir de ces résultats (colonnes BM et BR), la disponibilité est calculée sur la feuille « A\_Availability » (voir chapitre suivant).

### 8.2.3. Feuille « A\_Availability »

Pour améliorer le système, on calcule la fiabilité caractérisant la situation actuelle (aujourd'hui) et la situation future. Le calcul s'effectue en heures « h ».

Le calcul de la fiabilité se fonde sur les défaillances définies par composant (voir feuille « R\_Reliability ») ; dès lors, un seul composant peut faire l'objet de plusieurs calculs de fiabilité. Par exemple, les résultats des colonnes 15, 19 de la feuille « R\_Reliability » viennent s'ajouter à la colonne E en valeur inverse de la feuille A\_Availability. A la lumière de l'expérience ferroviaire, les termes généraux « maintenance préventive » et « maintenance curative » ne sont pas utilisés et doivent être remplacés par les termes suivants généralement employés dans le secteur, à savoir : « maintenance sous véhicule en exploitation » et « maintenance hors exploitation courante » avec les définitions suivantes. Le terme décrivant le temps nécessaire pour les opérations logistiques et administratives se scinde en deux catégories : LAMIS (pour la maintenance sous véhicule en exploitation) et LAMOV (pour la maintenance hors exploitation courante), de manière à se référer à une durée (ou à différentes unités selon le choix opéré), et se calcule sur le mode classique.

- Temps nécessaire pour la maintenance sous véhicule en exploitation (MIS) : il s'agit du laps de temps nécessaire pour entretenir et vérifier le système (c'est-à-dire l'essieu monté) sous / dans le véhicule en exploitation normale. Pour cela, on compte le temps correspondant à une immobilisation du système. S'il s'agit d'une opération effectuée en atelier, le calcul du temps débute au moment où le véhicule est dans l'atelier.
- Temps nécessaire pour la maintenance hors exploitation courante (MOV) : il s'agit du laps de temps nécessaire pour entretenir et vérifier le système (c'est-à-dire l'essieu monté) sous / dans le véhicule hors exploitation courante. Pour cela, on compte le temps correspondant à une immobilisation du système.
- Temps nécessaire pour traiter les aspects logistiques et administratifs de la maintenance sous véhicule en exploitation (LAMIS) et temps nécessaire pour les aspects logistiques et administratifs de la maintenance hors exploitation (LAMOV) : il s'agit du laps de temps qui s'écoule entre le moment où le composant est inutilisable et le moment où le composant est réparé, réassemblé et fonctionnel. Cela comprend par exemple le temps requis pour transporter le composant jusqu'au/à partir de l'atelier, pour commander les pièces détachées, les attentes en cas de saturation de l'atelier, ou le temps lié à la préparation de l'opération de maintenance. Dans le cas d'essieux montés, on intègre également le temps requis pour le démontage et le remontage.

Si l'on doit prendre en compte des durées différentes pour les actions de maintenance relevant d'une catégorie (MIS, MOV, LAMOV, LAMIS), l'utilisateur doit se référer à la moyenne des durées requises pour ces différents types d'intervention.

Le temps pris en compte est spécifique à chacun des quatre types de disponibilité :

- MIS+MOV+LAMOV+LAMIS)

examples)

#### 8.2.4. Feuille « M\_Maintainability »

Sur cette feuille relative aux opérations de maintenance seront calculés le temps passé par les agents et les besoins en moyens de production. Le résultat obtenu peut être utilisé comme donnée d'entrée pour la feuille « A Availability » de même que pour les coûts de possession (LCC).

M - Maintainability Facilité de maintenance														
Ziel Ermittlung des Zeitbedarfs für Instandsetzungstätigkeiten als Grundlage für LCC-Berechnungen und als Vergleich zwischen zwei Radatzbauarten. Objectif Détermination du temps nécessaire pour les activités de réhabilitation comme base pour les calculs de la LCC et comme une comparaison entre les deux types de structure de phrase de roue.														
Anleitung 1) Ausfüllen der hierüber gefällten Zellen. Ggf. befindet sich eine zusätzliche Beschreibung des Inhalts in den gelben Zellen unter der Spaltenüberschrift. 2) Der Zeitbedarf (Anzahl Stunden) wird jeweils ermittelt für die Ausführung einer der beschriebenen Tätigkeiten. 3) In der Spalte „Summe Personalstunden“ ist zur Ermittlung des gesamten Zeitbedarfs dieser Tätigkeit mit der Vor- und Nacharbeiten der Zeitaufwand aller dafür vorangehenden Tätigkeiten zu addieren. Description 1) Remplir les cellules de couleur jaune ci-dessus. Si nécessaire, une description supplémentaire du contenu se trouve dans les cellules jaunes sous le rubrique de la colonne. 2) Le temps nécessaire (nombre d'heures) les activités décrites est déterminé à exécuter exactement. 3) Dans la colonne heures de travail Total prend du temps de tous pour des activités antérieures à ajouter afin de déterminer le temps total nécessaire dans cette activité, y compris le pré- et de finition. 4) Transfert manuel de données dans l'outil de la LCC calculator.														
Zusatzinformation für LCC-Berechnung Informations supplémentaires pour le calcul de la LCC														
Zusatzinformation für LCC-Berechnung Informations supplémentaires pour le calcul de la LCC														
Zusatzinformation für LCC-Berechnung Informations supplémentaires pour le calcul de la LCC														
Komponente Component Composant	Beschreibung der Tätigkeit Description of the activity Description de l'activité	Instandhaltbarkeit - Parameter Parameter of the maintainability Paramètre de la facilité de maintenance	Kurzbeschreibung Parameter Instandhaltbarkeit Shortcut parameter maintainability	Anzahl Stunden Number of hours Nombre d'heures	Einheit unit unité	Anzahl erforderliches Personal Number of required staff Nombre de la disponibilité du personnel	Anzahl Personalstunden Number of staff hours Nombre d'heures du personnel	Einheit unit unité	Erforderliche Ersatzteile Required spare parts Pièces d'échange requies	Preis für erforderliche Ersatzteile Price for the required spare parts Prix pour pièces d'échange requies	Preis für sonstige Material Price for other material Prix pour autre matériel	Preis für Hilfsstoffe Price for auxiliary supplies Prix pour matériel	Erforderliche Hilfsmittel Required auxiliary means Pièces, pour outils requies	Preis für Hilfsmittel Price for auxiliary means Prix pour outils requies
Radatz Essau	Polieren von Lastwagen-Radsatz aus dem Fahrzeug Dismounting a freight wagon wheelset off	Mittlere Auskesselzeit Radatz aus Fahrzeug Mean Time To Dismantle (MTTDD)	MTTDD	1	h	2	2	h			n.g. for screw	n.g. for grease	a) 401-Fahrzeugen b) abschleppen Glasabschott	
Radatz Essau	Einbau des Güterwagen-Radsatzes in das Fahrzeug Mounting a freight wagon wheelset in the vehicle	Mittlere Einbauezeit Radatz aus Fahrzeug Mean Time To Mount (MTTMA)	MTTMA	1	h	2	2	h					a) 401-Fahrzeugen b) abschleppen Glasabschott	
Radatz Essau	Reparieren wheels off the vehicle	Mean Time To (MTT_B1)	MTT_B1	1	h	1	1	h						
Radatz Essau	Medium maintenance for freight wagon wheelsets	Mean Time To (MTT_B2)	MTT_B2	10	h	10	10	h	partly new bearings, 10% new	30 EUR		10 EUR		
Radatz Essau	Heavy maintenance for freight wagon wheelsets	Mean Time To (MTT_B3)	MTT_B3	10	h	10	10	h	partly new bearings, 10% new plus 2 new wheels	1.200 EUR		10 EUR		
							0	0						
							0	0						
							0	0						

Tableau 13 - Capture d'écran pour la feuille « A\_Maintenability » (les valeurs d'entrée sont des exemples)