



HAL
open science

DEMONSTRATION DE L'ATTEINTE DES INDICATEURS FMD -ILLUSTRE PAR UN PROJET DE TRAMWAY EN EXPLOITATION AU MOYEN ORIENT

Sylvain Maciejewski, Jean-Marie Cloarec

► **To cite this version:**

Sylvain Maciejewski, Jean-Marie Cloarec. DEMONSTRATION DE L'ATTEINTE DES INDICATEURS FMD -ILLUSTRE PAR UN PROJET DE TRAMWAY EN EXPLOITATION AU MOYEN ORIENT. Congrès Lambda Mu 21 “ Maîtrise des risques et transformation numérique : opportunités et menaces ”, Oct 2018, Reims, France. hal-02074581

HAL Id: hal-02074581

<https://hal.science/hal-02074581>

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.

DEMONSTRATION DE L'ATTEINTE DES INDICATEURS FMD - ILLUSTRÉ PAR UN PROJET DE TRAMWAY EN EXPLOITATION AU MOYEN ORIENT RAM DEMONSTRATION, ACCORDING TO A MIDDLE EAST PROJECT

Sylvain MACIEJEWSKI,
SYSTRA
72 Rue Henry Farman
75513 PARIS Cedex 15
+33 (0)1 71 18 79 53

smaciejewski@systra.com

Jean-Marie CLOAREC
SYSTRA
72 Rue Henry Farman
75513 PARIS Cedex 15
+33 (0)1 40 16 64 62

jmclarec@systra.com

Résumé

Beaucoup d'entre nous ont été amenés à effectuer des analyses FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) sur un système complexe. Cependant, dans la plupart des cas, ces analyses s'arrêtent à une activité uniquement théorique.

Lorsque les constructeurs sont soumis à des pénalités assujetties à l'atteinte des objectifs contractuels de FMD, il est fortement recommandé pour le Maître d'Ouvrage d'effectuer une vérification pratique d'atteinte des objectifs FMD des équipements installés sur le projet, c'est une activité dite de démonstration.

Une activité de vérification pratique des indicateurs FMD doit s'organiser de manière différente de la partie prédictive, puisqu'elle se déroule alors que le système est déjà mis en exploitation. Il faut alors mettre en place un processus et des outils nouveaux par rapport à ce qui s'est fait dans les phases précédentes du cycle en V, c'est-à-dire en phase design.

La présente analyse décrit cette activité de démonstration, présente des bonnes pratiques à adopter, et des pièges à éviter. Cette analyse repose sur l'expérience de SYSTRA et sur l'application des règles de l'art. Dans l'objectif de parfaire sa compréhension, ce rapport est aussi illustré par des exemples issus de l'activité de démonstration de la FMD faite par SYSTRA sur le tramway de Dubaï ;

Summary

Many of us are used to realize RAM Analysis (Reliability, Availability and Maintainability) of a complex system. However, in most case, these analysis are purely theoretical.

When contractors could be impacted by fine as soon as they don't reach their RAM contractual requirements, it is highly advice for the owner to check that equipment achieve their RAM requirements. This is an activity of RAM demonstration.

A practical checking of the achievement of the RAM target shall be realized in the different way that it was done for the RAM prediction. The reason is that the system is already in the stage of revenue service. So, it is necessary to set up a dedicated process with dedicated tools. These shall be different that those which were implemented in the previous stage of the V cycle, in other word the design stage.

This analysis describe the activity of demonstration, with good practices and traps to avoid. This analysis rely of the feedback of SYSTRA and the application of the art of the rules. In the objective to present an understandable analysis, this report is also illustrate with examples coming back to the RAM demonstration that was done for the tramway of Dubai.

1. Introduction

Lorsqu'il est alloué des objectifs FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) sur un système complexe, il est attendu une double justification de l'atteinte des objectifs de FMD à la fois théorique et pratique.

Le processus est défini au travers du schéma ci-dessous, celui-ci est une adaptation du cycle en V provenant de la norme EN 50126 :

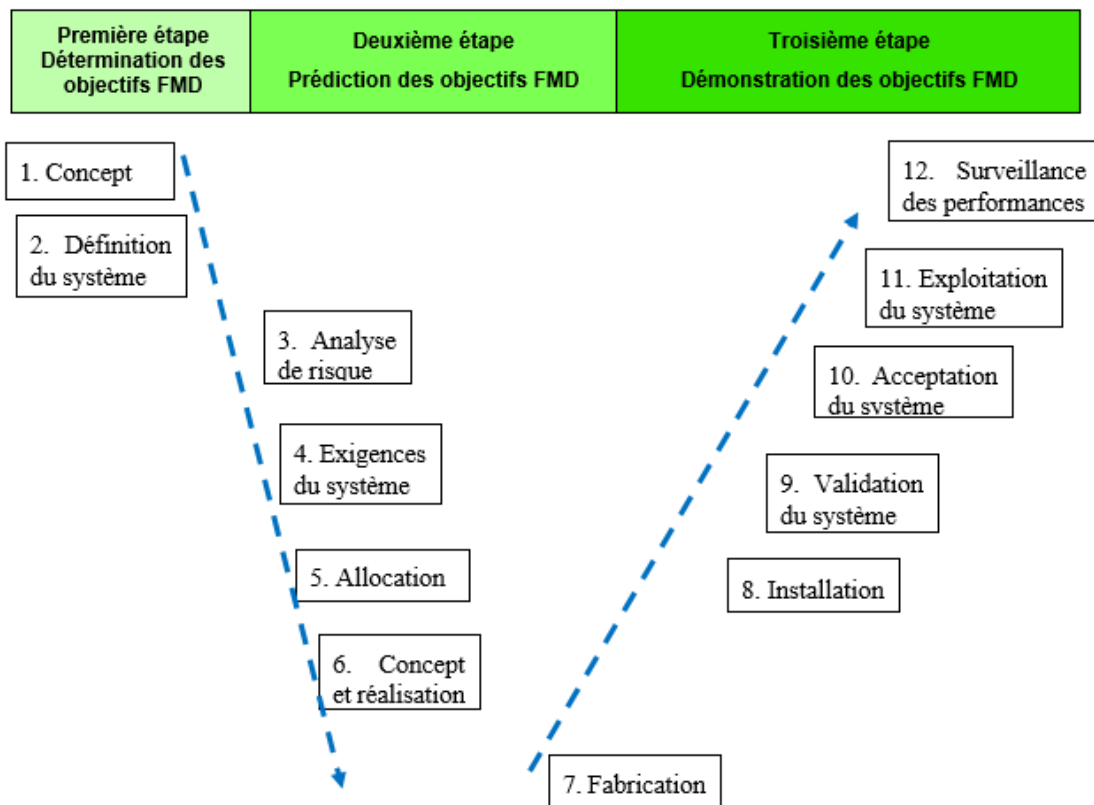


Figure 1: Activité de FMD durant le cycle en V

La première étape est celle de détermination des objectifs FMD. Elle correspond aux phases 1 et 2 du cycle en V présenté en figure 1. Durant cette étape, il est créé des objectifs FMD adaptés au projet. Voici ci-dessous quelques exemples d'objectifs quantitatifs alloués à un système ferré:

- 99 % des trains ont moins de 5 minutes de retard par rapport aux horaires théoriques (cet objectif englobe bien sûr le matériel roulant, mais aussi l'ensemble des sous-systèmes utiles à l'exploitation tel la signalisation, la voie...),
- MTTR (Mean Time To Repair) de 1 heure sur l'ensemble des équipements présents dans les trains,
- MCBF (Mean Cycle Between Failure) de 10 000 cycles sur les appareils de vente de ticket,
- ...

La deuxième étape est celle de prédiction de la FMD des objectifs précédemment cités. Cette phase de justification théorique correspond aux phases 3 à 6 du cycle en V présenté en figure 1. Cette partie, dite analyse prédictive, ne sera pas approfondie dans cette présentation car nous supposons qu'elle est connue de tous.

La troisième étape est celle de démonstration de la FMD des objectifs précédemment alloués et théoriquement calculés. Elle correspond aux phases 7 à 12 du cycle en V présenté en figure 1. C'est durant cette phase qu'il est démontré, par un recensement des pannes et de leurs caractéristiques de maintenance, que les objectifs sont effectivement atteints.

Cette phase de démonstration repose sur une organisation et des outils spécifiques. Il existe bien des méthodes permettant d'appréhender une activité de démonstration, mais il n'y a pas de norme qui décrive précisément le processus de démonstration de la FMD sur un système ferroviaire.

La gestion de la démonstration doit être particulièrement pragmatique pour refléter au mieux la réalité du terrain. En effet les clients finaux, les voyageurs, ressentent directement toutes les pannes du système, et ils s'attendent à ce qu'un constructeur ne soit libéré de ses contraintes qu'à condition que son système respecte les standards de fiabilité.

2. Intérêt d'une démonstration de la FMD

La démonstration de la FMD est d'intérêt pour tous les acteurs du projet.

Elle permettra au Maître d'Ouvrage de montrer à ses clients finaux, soit les voyageurs, qu'il a été capable de mener à bien son projet de construction.

La démonstration de la FMD est aussi utile au MOE (Maître d'œuvre) / Constructeur, car elle lui permettra de démontrer au Client:

- soit qu'il est capable d'atteindre les objectifs imposés (par le biais d'une croissance de fiabilité),
- soit qu'il a déjà atteint les objectifs et qu'il n'y a pas de décroissance de la fiabilité.

Sur un plan contractuel, la démonstration apparaît indispensable pour les projets sur lesquels le constructeur est soumis à des pénalités (de type extension de la période de garantie et/ou pénalités financières) en cas de non-respect des objectifs FMD alloués à la première étape de la figure 1.

Enfin, la réalisation d'une étude de démonstration permet de concentrer les regards des acteurs du projet sur les pannes et l'amélioration de la fiabilité. Cette concomitance de moyen crée un environnement propice à une activité d'optimisation du design et de réduction des pannes.

En prenant exemple sur le tramway de Dubaï, les analyses de démonstration ont été bénéfiques puisqu'il a permis de réduire considérablement le nombre de panne observé, tel que nous le constatons dans la figure 2 ci-dessous :

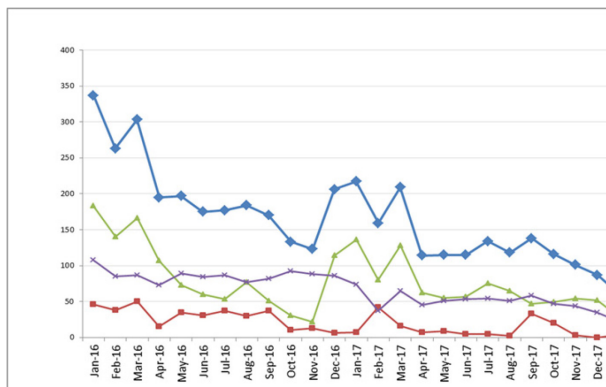


Figure 2: Evolution de la Fiabilité sur le tramway de Dubaï

3. Documentation de démonstration de la FMD

D'un point de vue documentaire, l'activité de démonstration se découpe selon cette logique :

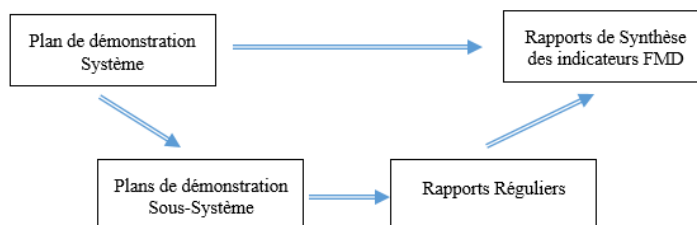


Figure 3: Principaux livrables de démonstration de la FMD

3.1. Le plan de démonstration système

Le plan de démonstration système a pour objectif de présenter l'organisation suivie par l'équipe projet pour accomplir la démonstration de la FMD. Il intègre entre autre le nom des responsables FMD, les normes suivies tel l'EN 50126 pour le ferroviaire, les livrables à produire, et les paramètres de détermination et de quantification des pannes techniques.

Concernant le dernier point, le plan doit présenter, dans les grandes lignes, les critères à partir desquels il est considéré qu'un dysfonctionnement est imputable au constructeur.

Nous pouvons prendre pour exemple les mouvements syndicaux, il apparaît légitime de ne pas tenir le constructeur pour responsable des retards des trains occasionnés par les grèves de conducteur, car ceux-ci n'ont pas une origine technique.

Il en est de même pour les conditions climatiques, où il apparaît légitime de ne pas considérer imputable au constructeur toute défaillance résultant de conditions météorologiques exceptionnelles (c'est-à-dire dépassant les limites présentées dans le contrat). A l'opposé, il est tout aussi légitime que le constructeur soit responsable des défaillances de son système alors que les conditions climatiques restent dans la limite de celles présentées dans le cahier des charges.

En outre, c'est lors de la rédaction du plan de démonstration système qu'il est pertinent de se poser les questions permettant de lever toute ambiguïté et ainsi d'éviter d'éventuels futurs conflits entre le constructeur, le client et l'exploitant. C'est donc dans ce document qu'il est recommandé de poser, avec la plus grande attention, et en parfaite transparence entre tous les acteurs du projet, les bases de détermination et de quantification des pannes techniques. Par exemple, est-il pertinent de comptabiliser les pannes logicielles ? Comment doivent être considérés les pannes répétitives ? ...

Méthodologie de démonstration de la Maintenabilité

La démonstration peut être différente suivant que l'on traite des objectifs de fiabilité, de maintenabilité ou de disponibilité.

En effet, le principe global de démonstration de la Fiabilité et de la Disponibilité résulte d'un recensement de pannes observées sur le terrain. La logique sera détaillée à la suite du document.

Cependant, pour la démonstration de la Maintenabilité, il peut être préférable de procéder à des tests par échantillonnage. Cette activité se fait généralement avant la mise en exploitation commerciale. Si cela est décidé ainsi par les acteurs du projet, il doit être produit en première approche un « plan de démonstration de la maintenabilité ». Des tests de réparation d'équipements seront ensuite réalisés dans des conditions réelles, tels que présenté dans le plan précédemment cité. Si les temps de réparations relevés sont inférieurs aux exigences, ces objectifs de maintenabilités sont considérés comme atteints.

Cas particulier pour les pannes logicielles

La gestion des pannes logicielles est un sujet délicat à considérer dès le début du projet. En effet, d'un côté ces pannes logicielles ne sont pas considérées dans les analyses prédictives, et ne sont généralement pas considérées à part entière lors de la rédaction des exigences FMD dans le cahier des charges.

D'un autre côté les pannes logicielles sont aussi préjudiciables pour le voyageur que les pannes matérielles. De plus, même si elles ne sont généralement pas considérées à part entière dans le cahier des charges, elles sont néanmoins englobées dans les objectifs de disponibilité de haut niveau.

Aussi, pour ce sujet, il est recommandé d'avoir une approche pragmatique et incitative pour le constructeur à mettre à jour ses logiciels face aux bugs récurrents. Il peut apparaître ainsi judicieux de considérer une partie des pannes d'origine software. A titre d'exemple, sur le tramway de Dubaï, lorsque le système avait à souffrir de pannes logicielles répétitives, celles-ci étaient regroupées afin de ne considérer in fine qu'une panne par mois et par type de panne.

3.2. Les plans de démonstration sous-système

Les « plan de démonstration sous-système » se basent sur le « plan de démonstration système » précédemment décrit. Ils approfondissent la description des activités de démonstration de la FMD pour chacun des sous-systèmes.

Les critères de détermination et des quantifications des pannes techniques sont affinés.

Dans la majorité des sous-systèmes, le calcul de fiabilité et de disponibilité se fait par un ratio basique entre le nombre d'équipement, le temps de fonctionnement nominal, et le nombre de pannes. Le nombre de panne utilisé dans ce calcul étant celui constaté durant la période de démonstration.

Dans la majorité des sous-systèmes, la disponibilité se calcule avec le ratio $MUT / (MUT + MDT)$.
MUT (Mean Up Time) est le temps moyen de bon fonctionnement.

MDT (Mean Down Time) est le temps moyen de non fonctionnement.

Cependant, il peut être aussi opportun pour certain sous-systèmes, de définir un nombre de panne admissible en utilisant la norme IEC 61124 (Essais de fiabilité – Plan d'essais de conformité d'un taux de défaillance constant et d'une intensité de défaillance constante). La définition du nombre de défaillance admissible se base ainsi sur ces différents facteurs :

- le niveau de risque accepté par le client en pourcentage,
- le niveau de risque accepté par le constructeur en pourcentage,
- la durée du test,
- le ratio D qui est un facteur discriminant,
- ...

A.6 Test plan A.6 – $\alpha = 0,20$; $\beta = 0,20$; $D = 2,0$

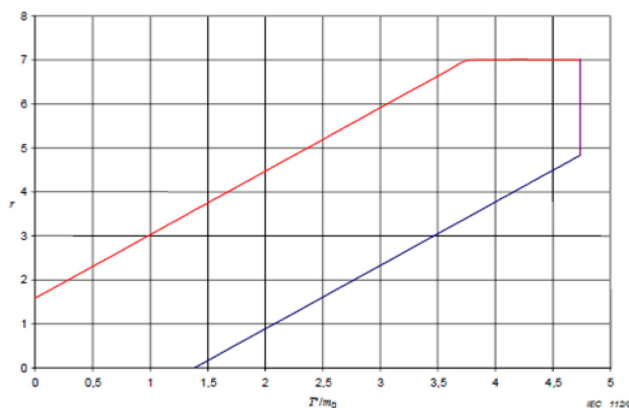


Figure 4: Exemple de Test plan provenant de l'IEC 61124

3.3. Les rapports réguliers

Afin d'avoir une bonne visibilité sur le nombre de panne et leur évolution dans le temps, il est attendu qu'il soit produit des rapports réguliers. Ces rapports sont le résultat des activités de recensement des pannes survenues pendant la période considérée. Il est recommandé que ces rapports soient produit à échéance mensuelle, et pour chaque sous-système doté d'indicateurs FMD.

C'est grâce à ces rapports qu'il peut être possible d'évaluer les évolutions du nombre de pannes, de répertorier les systèmes / équipements à l'origine de la majorité des pannes (en utilisant le principe de Pareto par exemple, où 80% des pannes sont dus par la défaillance de 20% des équipements), et de mettre éventuellement en place des plans d'actions si les objectifs n'apparaissent pas accessibles.

3.4. Les rapports de synthèse des indicateurs FMD

Ces rapports ont pour objectif de présenter les systèmes ayant atteints leurs objectifs. Ils sont en général d'occurrence annuelle, mais peuvent aussi être produits à la fin de la période de vérification de la démonstration de la FMD.

Ces rapports recensent ainsi les pannes observés pendant la dite période, et récapitulent aussi toutes les activités de démonstration faite durant ce laps de temps, telle la modification des objectifs (un exemple est présenté au chapitre 3.4).

4. Organisation du projet

Il est attendu que l'entité qui rédige les dossiers de démonstration de la FMD soit directement le MOE (Maître d'œuvre) ou le constructeur, car il est responsable du système qu'il a conçu.

Pour alimenter les analyses de démonstration de la FMD, le MOE doit pouvoir avoir accès au recensement des pannes. Cette activité est généralement assurée par l'exploitant et/ou quelquefois le mainteneur, à travers un outil dédié. Cet outil peut être de type Main courante, FRACAS...

Comme pour la sécurité, il est nécessaire qu'il y ait un organisme de contrôle. Son rôle est de vérifier les documents et activités réalisés par le rédacteur des dossiers de démonstration de FMD. Cette activité est généralement conduite par le Maître d'ouvrage ou son représentant.

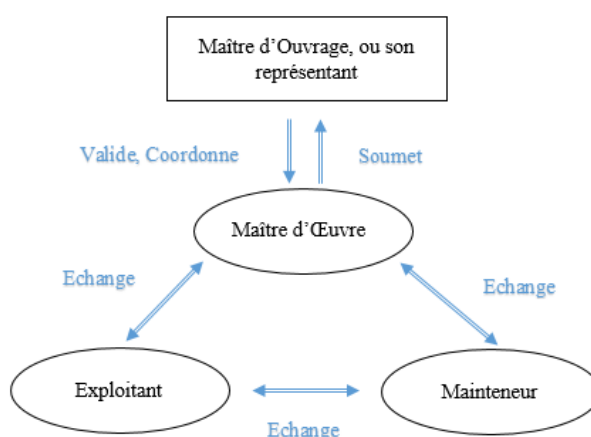


Figure 5: Interaction entre les principaux acteurs de démonstration de la FMD

Durant la phase de démonstration, des réunions triparties doivent être régulièrement mises en place. Ces réunions se font obligatoirement entre le constructeur, l'exploitant et le mainteneur. La présence du client ou de son représentant est conseillé mais pas obligatoire.

Ces réunions (aussi appelées FRB en anglais, Failure Review Board) ont pour objectif de déterminer, à partir de l'enregistrement des pannes, le responsable pour chacune des pannes subies par le système. En effet, le retour d'expérience montre que l'indisponibilité des systèmes ferrés dus à des pannes d'origine technique représentent environ un tiers des retards, les autres cas d'indisponibilités sont dus à des origines humaines (erreur d'un opérateur de la compagnie d'exploitation et/ou de maintenance, grève de certains membres de l'Exploitant, enclenchement d'un arrêt d'urgence par un voyageur, encombrement de la circulation routière impactant le tramway...) ou des conditions climatiques exceptionnelles.

Il est à noter que la mobilisation des équipes FMD pour la partie démonstration est une longue activité, puisqu'elle est susceptible de durer jusqu'à plusieurs années après le démarrage du système.

5. Exploitation des pannes – cas pratiques

Lorsque les analyses de démonstration de la FMD mettent en évidence des résultats inférieurs aux objectifs escomptés, il apparaît nécessaire d'approfondir l'origine des pannes et de mettre en place d'éventuels plans d'actions.

Voici ci-dessous quelques cas pratiques:

Cas numéro 1 : Un équipement de signalisation a un objectif de fiabilité MTBF de 10 000 heures. La durée de suivi de démonstration est de 2 ans.

Le résultat de la démonstration montre une fiabilité de 5000 heures au 3^{ème} mois, et cette fiabilité est montée à 8 500 Heures à la fin de la première année. Le premier rapport de synthèse annuel présente donc un objectif non atteint.

Cependant, après analyse, il en est résulté que les équipement étaient toujours en période de déverminage et n'avaient pas atteint le bas de la courbe en baignoire.

C'est une situation courante de la démonstration de la FMD. Pour cet équipement, il n'est pas nécessaire de lancer un plan d'action. Il suffit de suivre l'évolution des pannes pour s'assurer que l'objectif sera bien atteint l'année suivante.

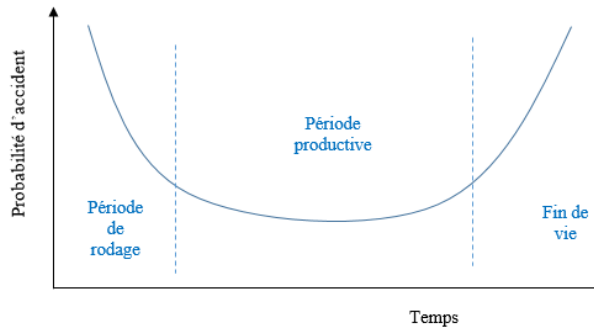


Figure 6: Courbe de baignoire type

Cas numéro 2 : Un objectif de fiabilité MCBF (Mean cycles between failures) de 10 000 cycles a été donné sur des équipements de vente de ticket TVM.

Cependant, le résultat de l'activité de démonstration montre que la fiabilité atteint 6800 cycles après la fin de la période de suivi, et aussi après la période dite de rodage.

Après analyse, il a été constaté que si le nombre de cycle entre défaillance est bas, le temps moyen de bon fonctionnement des équipements est correct et comparable aux projets similaires.

Par ailleurs, la fréquentation du projet ferré est moindre que cela était escompté : le nombre de ticket vendu est même deux fois moins important que les prévisions contractuelles.

Comme les équipements de vente de ticket sont composés à moitié d'équipement dépendant du temps de fonctionnement, et pas du nombre de cycle, il a été accepté par les acteurs du projet de modifier l'objectif. Celui-ci est passé à 6 000 cycles.

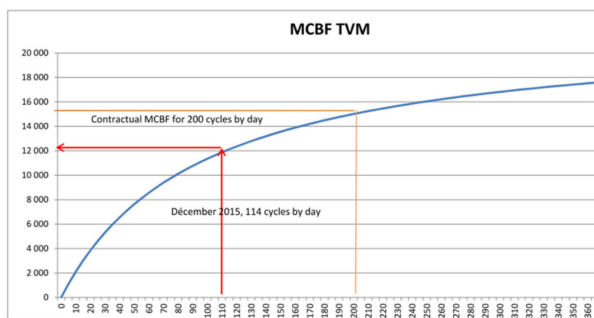


Figure 7: Evolution de la fiabilité du TVM en fonction du nombre de cycle

Le nouvel objectif, qui illustre mieux la fréquentation du système ferré, a été atteint par le constructeur

Cas numéro 3 : Un équipement essentiel à assurer l'alimentation électrique des trains a été alloué d'un objectif de fiabilité de 10 000 heures.

Le résultat de la démonstration montre une fiabilité bien en dessous des objectifs (ci-dessous la figure montrant une augmentation exponentielle du nombre de pannes).

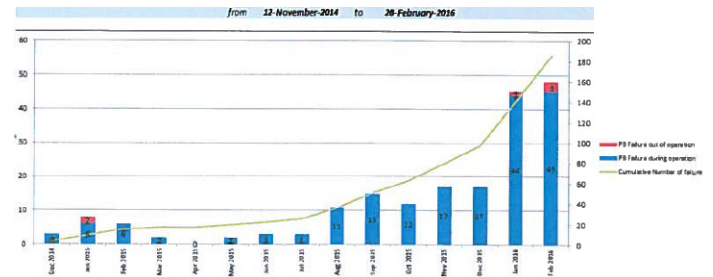


Figure 8: Evolution du nombre de panne

Après analyse, il en est ressorti qu'une pièce PDU (Point de Défaillance Unique) de cet équipement n'était pas correctement dimensionnée pour supporter les fortes contraintes climatiques du tramway de Dubaï.

Une modification du design a été effectuée et fut accompagné d'un rétrofit de toutes les pièces du projet.

Suite à cette modification, l'objectif de fiabilité a été atteint en un peu plus d'un an.

6. Conclusion

Il est attendu d'un système complexe de transport de personnes qu'il soit fiable et maintenable par l'Exploitant / Mainteneur. Pour ce faire, ces systèmes font l'objet de spécifications FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) dès la phase de faisabilité (phases 1 et 2 du cycle en V EN 50126). Des analyses doivent ensuite être produites pour justifier de l'atteinte de ces objectifs tout au long du cycle en V.

L'activité qui consiste à justifier ces objectifs en phase design est suffisamment décrite et rodée dans la littérature de la FMD.

L'activité qui vient ensuite, celle de démonstration, s'étale de la phase de construction jusqu'après la mise en exploitation. Dans le domaine ferroviaire, il n'y a cependant pas de normes ou de guides qui décrivent complètement et précisément la marche à suivre pour la démonstration d'un système après sa mise en exploitation. Néanmoins, il existe des règles de l'art permettant de répondre à ce besoin.

Certaines vous ont été présentées au cours de cette analyse.

Cette activité de démonstration d'un système ne retire rien à la nécessité de faire des analyses prédictives en phase de conception, c'est une activité qui est au contraire complémentaire à celle-ci.

Alors que cette pratique de démonstration de la FMD est relativement peu répandue en France, c'est une activité qui est en revanche relativement courante dans les projets internationaux.

Les travaux réalisés ces dernières décennies ont permis de fonder les principes d'analyse prédictive sur des systèmes complexes. Cependant, ce niveau de maturité n'est aujourd'hui pas le même pour les méthodes de démonstration. Ce domaine est encore insuffisamment appréhendé dans la littérature.

Cette analyse présente, au travers d'exemples tirés de l'expérience de SYSTRA, une synthèse des analyses FMD attendues et de leur finalité après la mise en exploitation d'un système. L'approche à adopter pour de telles analyses doit être pragmatique pour coller au mieux avec la réalité du terrain, notamment les pannes perçues par les utilisateurs.

SYSTRA l'a mise en pratique sur de nombreux projets, comme le tramway de Dubaï ou le métro d'Alger.

Références

- | | |
|-----------------------|---|
| Norme EN 50126 (1999) | Application ferroviaire –
Spécification et
démonstration de la fiabilité,
de la disponibilité, de la
maintenabilité et de la
sécurité (FDMS) |
| IEC 61124 (2006) | Essais de fiabilité – Plan
d'essais de conformité d'un
taux de défaillance constant
et d'une intensité de
défaillance constante) |