

Avant-propos

L'objectif principal de cet ouvrage est de fournir aux ingénieurs des bases saines de fiabilité. Nous nous intéresserons donc principalement à la fiabilité intrinsèque des composants, et notamment à son estimation lorsque le composant est soumis à des mécanismes de vieillissement sans maintenance. Cela fera l'objet du chapitre 1.

Dans ce chapitre, nous exposerons les principales fonctions mathématiques utilisées pour les systèmes sans actions de maintenance, mais surtout nous nous poserons la question de savoir ce qu'elles représentent physiquement et pourquoi elles ont été proposées. Encore des mathématiques, diront certains d'entre vous. Il faut bien comprendre que les mathématiques ne sont pas un but en soi, qu'elles ne sont pas là pour compliquer les choses, mais au contraire pour les simplifier. En effet, la nature qui nous entoure est d'une complexité extrême et la seule façon de faire des prévisions est de construire un modèle mathématique représentant cette réalité physique avec une erreur qui nous paraît acceptable.

D'autre part, vous trouverez dans cet ouvrage des démonstrations mathématiques peut-être trop nombreuses et ennuyeuses. Je ne propose que des démonstrations abordables par un ingénieur et parce qu'elles m'ont beaucoup apporté dans la compréhension de la problématique traitée.

Dans le chapitre 2, nous aborderons une partie très importante et souvent mal connue : l'effet de la maintenance sur la fiabilité d'un composant comportant des mécanismes de vieillissement qui peuvent être observés. Cette partie est difficile d'un point de vue mathématique et je tiens d'ores et déjà à m'excuser du formalisme théorique qui certainement manquera de rigueur. Vous ne trouverez point de notion de martingales, l'espace borélien, etc., mais l'essentiel dans cet ouvrage n'est pas là. Je conseille au lecteur plus rigoureux de se reporter à des ouvrages académiques très enrichissants tels que [GAU 07] ou [RIG 00].

Ce chapitre fournira donc les notions mathématiques essentielles, bien que celles-ci débouchent souvent sur des solutions non explicites et demandent le recours à des résolutions numériques. Ce dernier point, pour la philosophie de cet ouvrage, est ennuyeux car elle se veut assez accessible au commun des fiabilistes dans le domaine industriel. Ainsi, nous proposerons au lecteur des approximations mathématiques en fonction du contexte industriel, pour lui fournir des solutions explicites approchées lui permettant de mieux comprendre l'impact des grandeurs physiques manipulées.

Dans le chapitre 3, nous verrons comment appliquer ces différents types de maintenance pour des mécanismes de vieillissement. Notamment les approximations proposées au chapitre 2 serviront de base pour les exemples d'applications proposés.

Dans le chapitre 4, nous aborderons les conséquences du type de maintenance pour des mécanismes de vieillissement d'un point de vue « fiabilité », dans le cadre de mécanismes de vieillissement. Il est clair que la maintenance a un impact important sur celle-ci et il suffit de ne faire aucune action de maintenance sur sa voiture, par exemple, pour s'en convaincre. Très vite, celle-ci ne sera plus fonctionnelle.

Dans le chapitre 5, nous aborderons les conséquences de la maintenance d'un point de vue « stock de rechange », dans le cadre de mécanismes de vieillissement. Nous verrons que certains types de maintenance, s'ils sont avantageux en termes de fiabilité, peuvent être très coûteux. Nous rappellerons la modélisation utilisée pour les pannes de type accidentel et détaillerons comment ce calcul peut être effectué pour les mécanismes de vieillissement.

Dans le chapitre 6, nous aborderons les aspects « sécurité ». Déjà très présents dans certains domaines industriels tels que l'aéronautique ou le nucléaire, nous avons vu dans l'introduction de cet ouvrage qu'ils l'étaient dès aujourd'hui et encore plus dans un futur proche pour l'automobile, le ferroviaire et, à un moindre niveau, pour toute la domotique et l'électroménager. Les mécanismes de vieillissement et l'impact de la maintenance ne sont pas traités dans le domaine de l'aéronautique.

Enfin dans le chapitre 7, il est proposé une stratégie de maintenance de sécurité en cas de vieillissement prématuré.

L'hypothèse d'une distribution exponentielle pour chaque mécanisme est régulièrement utilisée. Plus grave, l'impact de la maintenance n'est pas pris en compte correctement même dans des documents de référence tels que l'ARP4761 [SAE 96].

Introduction

Dans le monde actuel, le mot « fiabilité » est de plus en plus présent dans les conversations de la vie courante. Bien sûr, dans les domaines techniques tels que l'aéronautique, le ferroviaire, le spatial, etc., la fiabilité est déjà largement utilisée, car c'est un paramètre majeur que ce soit pour des considérations de performances, de sécurité, de coûts ou d'image de marque.

Depuis plusieurs années maintenant, l'électronique et l'informatique sont rentrées dans le quotidien des êtres humains, et télévisions, téléphones portables, tablettes, ordinateurs, smartphones, etc. sont présents dans de nombreux foyers familiaux. Mais depuis quelques années, ils ont aussi envahi le domaine automobile, l'électroménager, etc., et cela ne fera que se renforcer dans les prochaines années avec le développement des voitures et trains autonomes, des avions plus électriques, et que sais-je encore ce que l'avenir nous réserve ? Il est clair que les enjeux de sécurité qui en découlent sont très importants et impliquent donc des analyses poussées en termes de fiabilité. Mais le mot « fiabilité » est même entré encore plus profondément dans les mœurs. Ne dit-on pas d'une personne, d'un organisme, etc. [qu'elle ou qu'il n'est pas fiable](#) ?

Nous pourrions alors nous attendre à ce qu'elle soit une matière à proprement parler dans les sciences de l'ingénieur telle l'électronique, l'informatique, etc. Eh bien non, vous ne trouverez rien de tout cela, à part quelques universités où l'on enseigne la sûreté de fonctionnement (fiabilité, sécurité, disponibilité et maintenabilité) ou les statistiques appliquées à la fiabilité, mais d'une façon très théorique. Le constat est du même acabit pour la plupart des industries où la fiabilité en termes de moyens, qu'ils soient humains ou financiers, est peu développée ou du moins d'une manière superficielle à comparer aux enjeux cités précédemment.

Nous pourrions aussi nous attendre à ce que ce mot soit clairement défini, sans équivoque, et qu'il ne soit pas dépendant de telle ou telle activité ou personne. Bien

sûr, vous trouverez dans [AFN 11] la définition suivante : « aptitude d'une entité à réaliser une fonction requise, dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné ».

On peut être assez surpris d'une telle définition dans le sens où, pour la plupart des cas d'applications pratiques, on utilise plutôt les notions de taux de défaillance et/ou de MTBF. Ceci est particulièrement visible, par exemple, dans le guide FIDES 2009 RevA [AFN 11] où l'on retrouve cette même définition, alors qu'elle n'est nullement utilisée dans les 465 pages de ce guide méthodologique.

De la même façon, ces deux indicateurs de fiabilité que sont le taux de défaillance et le MTBF, souvent mal compris, possèdent plusieurs définitions qui sont différentes entre elles, utilisent des hypothèses pour permettre leur estimation qui ne sont pas toujours vérifiées, voire même connues par l'utilisateur.

Pendant longtemps, l'être humain a vu l'univers comme un monde fixe et purement déterministe. La physique classique (Laplace) pensait qu'il était possible de mesurer les propriétés d'un système, comme la température ou la vitesse d'un corps, avec toute la précision souhaitée. Il suffisait de connaître les conditions initiales et on pouvait faire n'importe quelle prédiction.

Le début du XX^e siècle a complètement bouleversé cette vision. En effet, dans le monde qui nous entoure, les particules élémentaires qui le composent et dont nous sommes faits se comportent de façon aléatoire. Maxwell et Boltzmann ont été les premiers à exposer ce type de caractère avec la fameuse distribution de vitesse des molécules qui porte leur nom. Vu le nombre de particules dans un volume d'un litre d'air, par exemple (~ 600 000 000 000 000 000 000 000), aucun calcul n'est réalisable de façon individuelle. Si cette nature aléatoire, dans le monde courant, peut se voir comme déterministe à partir de calculs basés sur la moyenne, cela n'est généralement pas possible en fiabilité, du fait du nombre de défaillances que l'on peut observer : de quelques unités à quelques dizaines au maximum. Le caractère aléatoire des instants de défaillance doit être obligatoirement conservé. Mathématiquement, cela complique bien sûr les choses. Par exemple, alors qu'il est facile de manipuler des variables réelles, même une opération simple comme l'addition devient bien plus complexe pour une variable aléatoire puisque la somme de deux variables aléatoires est définie comme le produit de convolution de leur densité de probabilité.

Un autre paradoxe est que plus un produit est fiable et plus il est difficile de le montrer. En effet, si le produit est très fiable, le temps pour observer des défaillances va être très long, donc très coûteux, voire même complètement irréaliste. Ceci est encore exacerbé par la vitesse d'évolution de la technologie des composants, notamment du point de vue électronique. Pour les circuits intégrés pour lequel c'est

le plus significatif, la loi de Moore [MOO 65] énoncée dans les années 1960, stipulant que le nombre de transistors élémentaires double tous les 18 mois, est encore valable de nos jours. Ce qui est donc paradoxal, c'est que l'on met au point les nouvelles technologies de tels composants, avec donc une fiabilité différente, beaucoup plus rapidement que l'on estime la fiabilité de la technologie en cours.

Pour conclure, nous voyons donc que la fiabilité prend de plus en plus de place dans le monde moderne, alors qu'elle reste une science qui n'est pas vraiment considérée comme une matière à enseigner proprement dite et qu'elle est très souvent considérée comme « obscure » voire même galvaudée dans le domaine industriel.

Combien de fois n'ai-je pas entendu : « la fiabilité n'est pas une science exacte » ou « allez, prends ta boule et dis-moi combien vaut le MTBF de mon produit » ?

La première assertion montre combien le niveau de connaissance scientifique reste assez faible. Bien sûr, la fiabilité n'est pas une science exactement mais aucune autre science ne l'est non plus. Même les mathématiques, qui ont souvent cette réputation à tort d'ailleurs, ne peuvent revendiquer cela. Il suffit de connaître le théorème d'incomplétude de Godel pour s'en convaincre.

Pour la seconde, elle frôle le ridicule et l'on pourrait répondre, en ce sens, par une devinette : « quel est le comble du fiabiliste ? C'est de refaire sa baignoire avec des faïences ! ».