



HAL
open science

La norme afnor x50 144-3, une évolution majeure pour la construction de sévérités d'essais vibratoires de qualification

Pascal Lelan, Bruno Colin

► To cite this version:

Pascal Lelan, Bruno Colin. La norme afnor x50 144-3, une évolution majeure pour la construction de sévérités d'essais vibratoires de qualification. Congrès Lambda Mu 22 " Les risques au cœur des transitions " (e-congrès) - 22e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2020, Le Havre (e-congrès), France. <hal-03477828>

HAL Id: hal-03477828

<https://hal.science/hal-03477828v1>

Submitted on 13 Dec 2021

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.



HAL Authorization



LA NORME AFNOR X50 144-3, UNE EVOLUTION MAJEURE POUR LA CONSTRUCTION DE SEVERITES D'ESSAIS VIBRATOIRES DE QUALIFICATION

AFNOR X50 144-3 STANDARD, A MAJOR EVOLUTION FOR SEVERITY DERIVATION IN VIBRATION TESTING

Pascal Lelan
Direction Générale de l'Armement
DGA Techniques Terrestres
Bourges, France
pascal.lelan@intradef.gouv.fr

Bruno Colin
Nexter Systems
Direction Etudes et Développement
Versailles Satory, France
b.colin@nexter-group.fr

Résumé—La nouvelle édition de la norme AFNOR X50 144-3 publiée en 2020, traitant de la tenue aux environnements mécaniques a fait l'objet d'une restructuration complète qui redéfinit totalement la méthodologie utilisée jusqu'à présent. Basée sur la valorisation de mesure in situ, cette nouvelle approche présente une démarche universelle capable de traiter tous types de chargements vibratoires auxquels un système est soumis tout au long de son profil de vie.

Mots Clés—AFNOR X50-144, Personnalisation d'essais, Environnement, Qualification expérimentale, Profil de vie.

Abstract—AFNOR X50 144-3 standard has been reviewed in a second edition in 2020. This standard, dealing with mechanical environment issues, as part of tailoring process, has been reorganized totally with a global evolution of the historical methodology. Based on measurement processing, this new approach introduces a global methodology that takes into account all kind of vibration signals that system is able to meet during its life profile.

I. INTRODUCTION

La collection de normes AFNOR X50-144 est un ensemble de six documents qui concentrent l'ensemble des connaissances dédiées à la problématique de construction des sévérités d'essais dans le cadre de la qualification expérimentale des produits vis à vis des contraintes d'usage dans les domaines thermiques et mécaniques (cf. tableau 1). Ces documents se positionnent dans une démarche particulière appelée « Personnalisation des essais » qui consiste à dériver les sévérités d'essais du profil de vie du matériel à partir d'une analyse des chargements associés aux conditions réelles d'usage. Cette démarche est en fait une alternative aux approches forfaitaires proposées par certaines normes (STANAG 4370, MIL STD 810 H [Réf. 1 & 2]), qui permet une dérivation de l'essai à l'usage réel du produit. Cette collection est en fait la prolongation de la norme défense GAM EG 13 utilisée de 1983 à 2009 par l'ensemble des acteurs nationaux du secteur de la défense. En effet

devant les difficultés de maintien à niveau de la GAM EG 13 la Direction Générale de l'Armement (volume de travail à produire, disponibilité des experts) a décidé en 2009 de déclasser la norme nationale défense en privilégiant le référencement d'un document initié dans les années 90 dans le cadre d'une coopération au niveau des pays de l'OTAN : le STANAG 4370 (Réf. [1]).

Tableau 1 : Normes X50 144 - Démonstration de la tenue aux environnements – Conception et réalisation des essais en environnement

Référence du document	Dénomination
PR NF X 50 144-1	Partie 1 : Base de la démarche pour la prise en compte de l'environnement générale.
PR NF X 50 144-2	Partie 2 : Guide de la démarche de personnalisation en environnement.
PR NF X 50 144-3	Partie 3 : Application de la démarche de personnalisation en environnement mécanique.
XP X 50 144-4	Partie 4 : Application de la démarche de personnalisation en environnement climatique.
PR NF X 50 144-5	Partie 5 : Coefficient de garantie.
PR NF X 50 144-6	Partie 6 : Facteur d'essai.

A partir des années 2000, sous l'impulsion de l'Agence Européenne de Défense, une étude importante a été initiée au niveau européen dans l'ensemble des domaines techniques en relation avec les programmes d'armement afin de faire un état des référentiels applicables, en déclinant par domaine technique des guides des meilleurs pratiques. A ce titre dans le domaine de la prise en compte des problématiques environnementales (mécanique et climatique) dans les phases le développement des nouveaux projets, les experts européens mandatés ont confirmé le positionnement très favorable du STANAG 4370 en tant que document de référence fédérateur, avec une réserve cependant importante

concernant la non prise en compte des méthodologies permettant la construction des sévérités d'essais (Réf. [3]). C'est dans ce contexte que le Centre de Normalisation de Défense, organisme central pour la normalisation au niveau du Ministère des Armées a initialisé en 2011 auprès de l'AFNOR le projet des 6 normes de la série X50-144 avec plusieurs objectifs :

- Mettre en place dans le cadre d'un référentiel national les outils manquants au niveau du STANAG 4370 sur la méthodologie de construction des sévérités d'essais pour les domaines thermiques et mécaniques,
- Capitaliser dans un environnement pérenne les acquis techniques contenus dans l'ancienne norme GAM EG 13 [Réf.4] (en particulier CIN EG 01 d'une part, annexe générale mécanique d'autre part),
- Et ouvrir ces méthodes de « Personnalisation des essais » issues du secteur militaire au monde civil.

Le travail d'écriture de ces 6 normes s'est étalé de 2011 à 2020 au travers d'une collaboration étroite entre les experts techniques émanant de la DGA et du secteur industriel, y compris de laboratoires d'essais nationaux. Piloté par les équipes de l'AFNOR, ce travail est réalisé par les participants en se conformant aux dispositifs des règles pour la normalisation française et en respectant la réglementation relative au droit d'auteur. A ce titre, les droits d'exploitation de certains travaux sont cédés à l'AFNOR, pour toute la durée légale de protection des droits de propriété intellectuelle les concernant. Une action parallèle s'est également mise en place entre le comité d'experts AFNOR et la Commission Mécanique et Climatique de l'Association des Sciences et Techniques de l'environnement (ASTE) regroupant l'ensemble des experts français du domaine tous secteurs confondus [Réf. 5]. Cette démarche parallèle a permis de confronter les idées novatrices du groupe AFNOR avec la communauté de l'Environnement en quasi temps réel, et de mettre en place sous l'égide de l'ASTE des journées techniques centrées sur ces avancées méthodologiques au CEA-CESTA en 2011 [réf. 6], à Nexter en 2012 [Réf. 7] et plus récemment en 2016 à la DGA-TT [Réf. 8].

La rédaction de la collection de ces 6 documents normatifs s'est en fait déroulée en deux temps. Tout d'abord le comité de rédaction a fait un travail de transcription des documents historiques de l'ancienne GAM EG 13 permettant la publication des normes X50 1 à 4 dans leur édition 1 (période 2001-2014).

La mise en place des normes 5 et 6 qui concernent la sévéritisation de l'essai d'environnement personnalisé a fait prendre conscience au comité de rédaction œuvrant à l'AFNOR d'un certain nombre de difficultés contenues dans l'approche historique portées par les documents historiques de référence, nécessitant :

- Un changement d'orientation de ces deux derniers fascicules,
- Et une réécriture des normes 1 à 3 dans une édition 2, permettant ainsi l'émergence d'une méthodologie cohérente et totalement remaniée, en particulier pour

le volet mécanique de la démarche de « Personnalisation des essais ».

II. LE POINT DE DEPART

Expliquer la démarche de personnalisation nécessite paradoxalement d'aborder ce processus méthodologique par la fin. Effectivement la finalité de l'essai de qualification consiste à pouvoir répondre à la question simple de savoir si un matériel ou plus exactement ses fonctions techniques possède une fiabilité à la hauteur des exigences du client dans le cadre de l'usage pour lequel il a été étudié, appelé communément « profil de vie ». Il faut bien comprendre que cette démarche est particulièrement ambitieuse car elle vise à répondre à une question de haut niveau très proche de l'attente client, tout en positionnant une passerelle entre deux métiers différents :

- La FMDS (Fiabilité Maintenabilité Disponibilité Sécurité),
- Et le domaine de l'Environnement Général et de la Mesure des Conditions d'Emploi du Système, en termes de chargements.

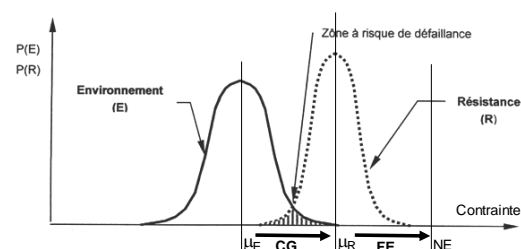
Pour répondre à la question posée, la démarche de personnalisation réutilise un outil connu dans le secteur de la FMDS sous le nom de méthode « Contrainte-Résistance ». Schématisée par la figure 1, cette technique permet de positionner sur un même diagramme la densité de probabilité de l'environnement (E) du profil de vie et celle de la résistance (R) du produit. La fiabilité F (complément de la probabilité de défaillance P_0), est alors définie comme la probabilité que la résistance du produit soit plus grande que celle de la contrainte, et constitue ici une allocation FMDS que les experts en environnement se doivent de démontrer par essais. L'ensemble de la problématique est résumé par l'équation [1].

$$1 - F = P_0 = Prob[E < R] \quad [1]$$

$$avec P_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} f_R(x)[1 - F_E(x)]dx = \int_{-\infty}^{+\infty} f_E(x)F_R(x)dx$$

Dans cette méthode, l'inconnue est la position de la valeur moyenne μ_R de la résistance (le type de loi de résistance étant connue ainsi que sa dispersion, sous forme de coefficient de variation $CV = \sigma_R / \mu_R$).

Figure 1 : Sévéritisation de l'environnement



La résolution de l'équation [1] permet de positionner la valeur moyenne de la résistance (μ_R) par rapport à la valeur moyenne de l'environnement (μ_E). Le ratio entre ces deux grandeurs est alors dénommé coefficient de garantie (CG), et fait l'objet de la norme NF X50-144-5.

La base de la méthode de sévénisation étant posée, il reste deux axes d'effort à mettre en place qui concourent soit à construire la méthode Contrainte-Résistance, soit à en assurer son contrôle. Effectivement une première phase amont consiste à construire la loi de l'environnement, cette phase dans le domaine de la mécanique fait l'objet de la norme NF X50-144-3 alors qu'une seconde phase située en aval du processus Contrainte-Résistance vise à s'assurer par essais sur échantillons, que la résistance du produit reste effectivement bien supérieure ou égale à la valeur issue de l'équation [1], c'est l'objet de la norme NF X50-144-6.

Les spécificités des fascicules 5 et 6 de la norme NF X50-144 ont fait l'objet d'une communication détaillée au LM21 (Réf. [9]). Nous rappellerons simplement ici que la démonstration expérimentale est portée par le fascicule 6 de la Norme AFNOR. Il conduit à définir un coefficient dénommé Facteur d'Essais (FE), qui par le biais d'un test d'hypothèse appliqué à des essais de type « pass or fail » [réf. 9], pour un nombre d'essais « n » réussis, le niveau d'essai NE est alors corrélé à un niveau de confiance NC, au travers de l'équation [2] (hypothèse simplificatrice où l'effet en contrainte de l'essai d'environnement est déterministe).

$$F_R(NE) = 1 - (1 - NC)^{\frac{1}{n}} = \int_{-\infty}^{NE} f_R(x) dx \quad [2]$$

Pour conclure il convient de noter la puissance de la démarche de sévénisation proposée. En effet cette technique permet d'un point de vue purement théorique de convertir la distribution de l'environnement réel mesuré, aussi complexe soit elle, en un essai simulable sur moyens d'essais traditionnels dont la nature d'un point de vue statistique peut être totalement décorrélée de l'environnement réel. En pratique compte tenu des hypothèses proposées par la méthodologie de « Personnalisation des essais » dans son Etape 3 (voir Figure 2), on essaye autant que faire se peut de conserver les propriétés physiques de l'environnement d'origine pour la construction de la sévérité d'essai, le but de l'essai en environnement étant alors :

- D'initier les modes de défaillance sous-jacents de l'équipement à qualifier, et qui sont en général assumés par le concepteur, dans le respect des contraintes de développement qui lui sont imposées par la chaîne d'ordre industrielle,
- D'éviter l'apparition de modes de défaillance représentatifs des conditions d'usage du profil d'emploi et du RETEX des experts métier du secteur industriel concerné.

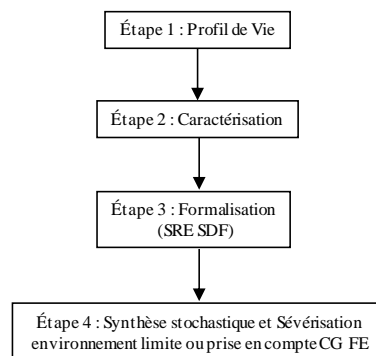
De ce fait un environnement réel de type bruit large bande (même à caractère non gaussien) pourra être avantageusement validé par un essai en bruit gaussien, alors qu'un environnement réel de type composite mixant des phénomènes harmoniques couplés à un bruit large bande sera validé par un essai de type sinus plus bruit (et non bruit sur bruit) [Réf. 10], [Réf. 11] et [Réf. 12].

III. UNE DEMARCHE RENOUVELLEE

L'ensemble des activités environnement, porté par le monde industriel dans la phase remontante du « V » de conception et baptisé démarche de personnalisation, se décompose en quatre grandes étapes successives. Pour le domaine mécanique, ces quatre étapes sont décrites de façon détaillées et très documentées dans les normes NF X50-144-

2 et NF X50-144-3, et sont schématisées macroscopiquement sur la figure 2 qui suit, à savoir :

Figure 2 : Les 4 étapes de la personnalisation mécanique



Les Etapes 1 et 2 n'ont pas fondamentalement évoluées entre la démarche historique et le nouveau processus proposé par NF X50-144-3. Les Etapes 3 et 4 quant à elles portent l'essentiel des évolutions majeures permettant une mise en cohérence de l'ensemble de la démarche de personnalisation. En effet la méthode historique permettait de caractériser les chargements réels (cf. Etape 3 de la Figure 2) soit :

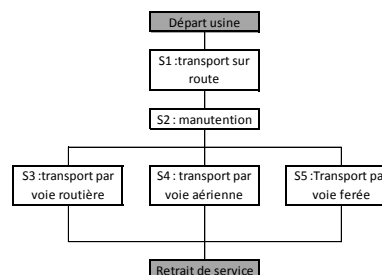
- Sous l'angle stochastique des processus (avec comme hypothèse sous-jacente de les supposer stationnaires et gaussiens),
- Ou soit sous l'angle déterministe et ceci quelle que soit la nature des chargements réels mesurés (constituant une hypothèse de calcul grossière en inadéquation avec l'essence même des chargements générés par la plupart des porteurs, dont l'usage et la conception conduit à les considérer intrinsèquement aléatoires).

Il n'était donc alors pas possible de mettre en œuvre correctement le principe de Contrainte-Résistance présenté précédemment à la Figure 1, la distribution de l'environnement était alors imposée de manière arbitraire sous forme d'une loi standardisée (normale, log normale ou weibull) autorisant certes une détermination analytique du Coefficient de Garantie (CG), mais malheureusement très souvent en décalage par rapport à la statistique réelle des chargements complexes mesurés.

A. Etape 1 : profil de vie

L'étape 1 consiste à décliner le profil de vie du produit en situation homogènes, en prenant soin de bien dissocier les phases vibratoires stationnaires ou quasi stationnaires, des phases transitoires (chocs) qui décrivent le plus fidèlement possible l'ensemble des charges mécaniques appliquées au système étudié. A ce stade le profil de vie est décrit comme un enchaînement de blocs en série ou en parallèle, où chaque bloc représente une situation élémentaire du profil de vie, comme le montre la figure 3.

Figure 3 : exemple de profil de vie



B. Etape 2 : Caractérisation

L'étape 2 vise à compiler les informations caractérisant les chargements associés aux différentes situations du profil de vie. En environnement mécanique, il est d'usage de travailler avec des capteurs accélérométriques, plus simple à mettre en œuvre, permettant des dynamiques de mesure très importantes, plus robustes par rapport aux mesures extensométriques plus difficiles à mettre en œuvre avec comme avantage de pouvoir réaliser une mesure directe des contraintes, non accessible avec les capteurs accélérométriques. Cette simplification vis-à-vis de la mesure de contrainte va devoir être compensée au niveau de l'Etape 3 de formalisation pour remonter aux chargements de type contrainte. Les mesures accélérométriques sont généralement réalisées au niveau des entrées des chemins de transfert du système étudié, afin d'être en cohérence avec les méthodes de formalisation proposées à l'Etape 3. Historiquement, les caractérisations étaient réalisées en Densité Spectrale de Puissance (DSP). Cet usage qui reste pertinent pour comprendre le contenu fréquentiel du signal à analyser, ne peut en aucun cas être conservé pour alimenter l'Etape 3, en effet l'étape de formalisation ne peut être alimentée par des DSP que si les signaux d'origine sont de nature gaussienne, ce qui est très limitatif [Réf. 13]. Dans le cadre de la norme XP X50 144.3 il est conseillé de conserver les signaux temporels bruts sans traitement complémentaire.

C. Etape 3 : Formalisation

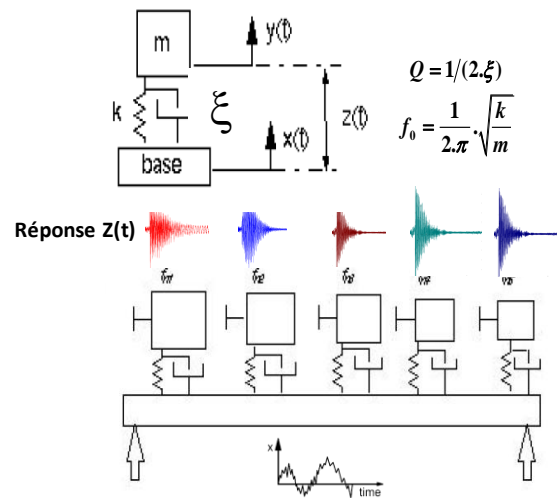
Cette étape est au cœur des évolutions majeures de la démarche de personnalisation. Cependant avant de mettre en avant les innovations apportées par la norme NF X50-144-3, il convient de rappeler les bases mathématiques des techniques SRE-SDF, qui la caractérise. L'idée historique est de considérer les mesures accélérométriques comme les entrées de sollicitation du système à étudier et de considérer les chargements vus par ce dernier comme les réponses à ces sollicitations. La réponse de la structure est évaluée en l'assimilant à un ensemble de résonateur à un degré de liberté (d.d.l) soumis aux excitations accélérométriques mesurées $x(t)$. Chaque résonateur est alors caractérisé par sa fréquence propre f_0 et son coefficient d'amplification dynamique Q (cf. figure 4). Le débattement relatif $z(t)$ est ensuite calculé au niveau de chaque résonateur, ce qui permet d'estimer la contrainte $\sigma(t)$ subie par la structure en supposant que cette dernière reste proportionnelle au déplacement relatif calculé, et ceci pour chaque résonateur ou K représente le coefficient de proportionnalité tel que :

$$\sigma(t) = K \cdot z(t) \quad [3]$$

A partir de la contrainte calculée $\sigma(t)$ pour chaque résonateur f_0 , il est possible d'adresser les deux modes de défaillances conventionnels du domaine mécanique, à savoir:

- Le dépassement d'un seuil de contrainte d'une part,
- Et l'endommagement par fatigue accumulée sous l'effet des cycles de contraintes alternées d'autre part.

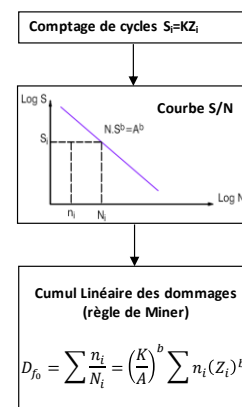
Figure 4 : Le modèle à 1 ddl



Les deux modes de défaillances sont déclinés suivant deux spectres de réponse complémentaires associés aux f_0 :

- Le Spectres de Réponse Extrême (SRE) obtenu en observant la valeur maximale de la réponse $Z(t)$
- Le Spectre de Dommages par Fatigue (SDF) obtenu à partir d'un comptage des cycles de chargement de la réponse $Z(t)$ selon la règle de Miner (cf. figure 5)

Figure 5 : Principe de la formulation de Miner



En pratique les signaux d'excitation qui sont mesurés à l'Etape 2 peuvent être classés en deux grandes catégories, à savoir :

- Stochastique (cas des bruits gaussiens ou non),
- Ou déterministe (cas des phénomènes transitoires de type chocs ou cas des phénomènes périodiques).

Dans tous les cas de figure, l'étape de formalisation consiste à caractériser l'aspect probabiliste des chargements de réponse associé à l'ensemble des mesures disponibles propres à chacune des situations du profil de vie du système, conformément à l'attente de l'Etape 4 où va être mise en œuvre la méthode Contrainte-Résistance.

Bien que déjà évoqué dans son édition 1 de 2014, l'édition 2 de la norme NF X50-144-3 apporte une réponse complète et innovante à la problématique de la valorisation statistique des mesures in situ. En effet la Méthode des Blocs Disjoints (MBD), présentée de manière spécifique dans l'annexe B de la norme et dans de nombreuses publications internationales (Réf. [12] [13] [14] et [15]), permet une prise

en compte de toutes les natures de signaux d'excitation stochastique (gaussien, non gaussien, stationnaire, non stationnaire), contrairement aux méthodes de traitement du passé. Cette nouvelle technique présente une avancée spectaculaire pour le métier de l'environnement en autorisant un traitement rapide et homogène de volume de données considérable. Elle s'appuie en particulier sur des fondements scientifiques jusqu'alors inexploitées dans le métier environnement comme :

- La modélisation statistique des chargements court terme, obtenue par les techniques d'inférence statistique, basé sur les L-moments [Réf. 15],
- La modélisation statistique des chargements long terme par la Théorie des Valeurs Extrêmes (TVE) utilisée principalement pour l'analyse probabiliste en SRE, sachant que pour le SDF c'est le Théorème Central Limite (TCL) qui fait référence dans ce domaine [Réf. 15].

Enfin l'annexe A de la norme repositionne de manière claire et précise l'ensemble des résultats connus sur la formalisation des environnements forfaitaires classiques (Bruit gaussien en DSP, Sinus fixe ou balayé, Bruit sur bruit gaussien balayé) et Sinus sur bruit fixe ou balayé, qui dans ce cas très particulier fait appel aux fondements scientifiques de la MBD, de par la nature non gaussienne de ce type d'environnement forfaitaire, qui est associé aux cas des véhicules chenillés, des porteurs hélicoptères et avions à hélices et dans une moindre mesure à certains bâtiments maritimes. La grande richesse de sources bibliographiques traitant du sujet avait conduit effectivement les éditeurs de logiciels à proposer des outils dont les résultats présentaient une certaine divergence, mise en évidence lors d'un exercice d'inter comparaison réalisé lors du congrès ASTELAB mécanique d'octobre 2016 [Réf. 16].

D. Etape 4 : Synthèse stochastique et Sévérisation

L'étape de formalisation produit autant de couple de résultats (SRE, SDF) qu'il y a de situations identifiées au niveau du profil de vie du système. Ces résultats sont généralement sauvegardés sous forme de fichiers indépendants, contenant chacun les caractéristiques de la situation courante, à savoir :

- La nature de la loi statistique
- Les paramètres de la loi, pour chaque f_0 .

Nous n'aborderons pas ici la justification des lois génériques qui sont utilisées pour la caractérisation des grandeurs formalisées de chaque situation. De manière synthétique la TVE nous permet de restreindre les lois de formalisation en SRE aux trois lois suivantes :

- Gumbel
- Weibull
- Fréchet

Alors que dans le cas des SDF l'usage du théorème Central Limite (TCL) permet de réduire la caractérisation à une loi Normale.

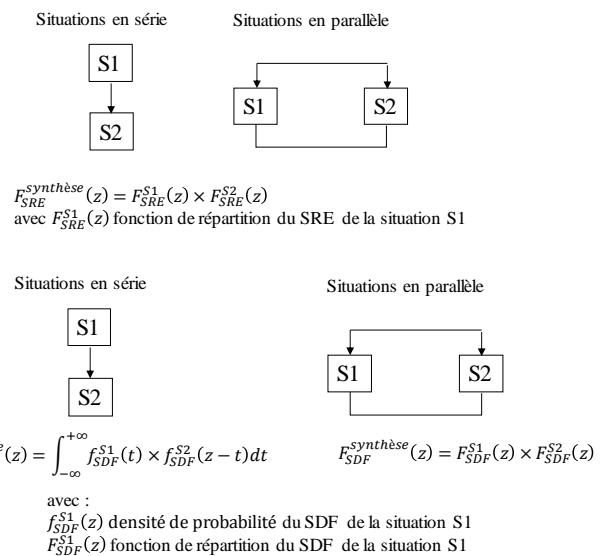
L'étape de synthèse stochastique vise à produire la concaténation de l'ensemble du profil de vie du système, décrit à l'Etape 1, à partir de chacune des situations élémentaires précédemment caractérisées.

Les errements historiques simplificateurs de la synthèse déterministe (en terme d'Enveloppe et/ou de Sommation) des profils de vie sont remplacés dans la nouvelle mouture de NF X50-144-3 par une propagation stochastique rigoureuse des lois statistiques obtenue par les techniques d'inférence, en respectant scrupuleusement la topographie du schéma bloc du profil de vie, imposé par le Cahier des Charges (CdC) du Client.

Pour chaque f_0 , les nouvelles modalités de synthèse stochastique des lois caractérisant les SRE et les SDF de chacune des situations sont résumées à la figure 6.

Dans la plupart des cas, cette méthodologie implique une mise en œuvre exclusivement numérique avec le bénéfice de pouvoir réaliser un couplage cohérent et sans rupture avec la phase de sévérisation (prise en compte du CG et du FE exposés précédemment). En effet à l'issue de cette synthèse stochastique, les lois statistiques en SRE et en SDF, représentatives du profil d'emploi pour chaque résonateur f_0 ne peuvent plus être calées sur des lois analytiques connues. En conséquence, la mise en place du Coefficient de Garantie (CG) obtenue par le biais de la méthodologie de Contrainte-Résistance ne peut plus s'effectuer analytiquement comme par le passé, mais doit s'effectuer numériquement en s'appuyant sur les règles de synthèse stochastique, exposées à la figure 6. Il en va de même pour la prise en compte du Facteur d'Essai (FE).

Figure 6 : Règles de synthèse stochastique



Une précision importante doit être signalée au niveau de cette dernière étape de la démarche de personnalisation. Dans certains cas particuliers la phase de sévérisation peut être différée pour des raisons de partage de tâche dans des projets importants où se côtoie une maîtrise d'ouvrage et une maîtrise d'œuvre. Dans ce type de projet la maîtrise d'ouvrage peut avoir la charge d'établir les Etapes 1 à 4 du processus hors sévérisation, pour pouvoir passer le relais vers la maîtrise d'œuvre en charge du développement du système. Dans ce contexte seule la maîtrise d'œuvre dispose des informations permettant la gestion du processus Contrainte-Résistance (connaissance des lois matériau) : on utilise alors le concept d'Environnement Limite (EL). Ce concept est une innovation importante apparue dans l'édition 2 de la norme NF X50-144. L'idée est de bloquer le processus de

personnalisation du côté maîtrise d'ouvrage à l'issue de la phase de synthèse stochastique en produisant pour chaque résonateur f_0 un quantile à risque de dépassement dont la valeur dépend de la criticité du système étudié. La description complexe de l'environnement au travers des lois statistiques disparaît autorisant un retour possible en Densité Spectrale de Puissance depuis les quantiles des deux grandeurs SRE et SDF. Le passage de relais entre les deux protagonistes du projet est alors facilité, la maîtrise d'œuvre n'ayant plus que la phase de sévrisation à mettre en place sur la base d'une distribution de l'environnement assimilée à une valeur déterministe, ce qui simplifie grandement la résolution de l'équation [1].

IV. PERSPECTIVES ET EVOLUTIONS

Le travail de normalisation réalisé sur ces dix dernières années est assez considérable et il permet de positionner le métier environnement à un très haut niveau scientifique et technique.

Un travail important est en cours pour soutenir l'activité industrielle de développement logiciel et permettre ainsi à l'ensemble des secteurs industriels civils et militaires de bénéficier de l'apport de ces nouvelles méthodes. Des outils informatiques validés sont d'ores et déjà disponibles et mis en œuvre dans le domaine de l'environnement militaire terrestre qui a largement contribué à soutenir l'effort de développement de ces nouvelles normes.

Les enjeux du déploiement de cette méthodologie sont multiples ; tout d'abord donner une perspective cohérente, claire et pertinente en accord avec l'état de l'art d'un point de vue théorique. C'est aussi apporter une stratégie permettant d'augmenter considérablement la productivité des équipes de spécialistes en environnement dans le traitement des données de mesure (réputés très chronophages et peu robustes avec les logiciels actuels du marché). En effet la complexité des systèmes en développement associée à l'augmentation des capacités des moyens d'acquisition conduit à la mise en place de bases de données toujours plus volumineuses en nombre de voies de mesure et en cadence d'échantillonnage. Cette méthodologie apporte une réponse unique et efficace permettant de traiter l'exhaustivité des chargements vibratoires industriels, en évitant « les phases chirurgicales et /ou de nettoyage » des signaux pour les rendre plus en adéquation avec les hypothèses de stationnarité et de gaussiannité des traitements DSP du passé. A titre d'exemples, il n'est plus nécessaire d'isoler les chocs terrains ou les transitoires de tirs canon qui se superposent aux vibrations aléatoires de roulage des porteurs à roues, voire d'extraire les composantes sinusoïdales des chargements composites sinus plus bruit (turbo propulseur, moteur thermique, train de roulement à chenilles,...) pour traiter d'un côté les excitations harmoniques et de l'autre la part de bruit du chargement pour les recombinaison à l'issue avec des lois probabilistes approximatives. Le traitement des chargements est désormais réalisé d'une manière globale à partir de la MBD, dont la production en SRE et SDF est désormais synthétiser par des techniques de synthèse stochastique, qui constitue une évolution majeure de la démarche de personnalisation, valorisée par l'AFNOR et qui sera disponible courant 2020.

Au niveau international ces nouveaux développements ont fait l'objet de plusieurs présentations au sein du MCAT (Mechanical and Climatic Action Team) groupe de travail en charge de la mise à jour du STANAG 4370. Ces nouvelles évolutions ont été favorablement accueillies par les experts internationaux siégeant au comité de rédaction, il a été décidé lors de la réunion annuelle de 2019 de référencer les normes françaises NF X50-144 dans le fascicule AECTP 240 du STANAG 4370, traitant de l'ingénierie mécanique des essais [Réf. 17]. En ratifiant le STANAG 4370 dans ses versions futures, suite à l'abandon du référentiel GAM EG 13 dans le Référentiel Normatif Pour l'Armement (RNPA), les industriels de l'Armement Français pourront donc favorablement s'approprier à l'avenir les concepts innovants de ce nouveaux processus de personnalisation, en développant des Cahiers des Charges (CdC) Environnement au juste nécessaire, tout en garantissant les performances FMDS exigées par le CdC Client, que l'on ne pouvait pas valoriser correctement avec les méthodes du passé.

REFERENCES

- [1] STANAG 4370 Environmental Testing
- [2] MIL STD 810 H Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests
- [3] Report of Expert Group 8 Environmental Engineering April 2011 (www.eda.europa.eu/EDSATR/Std_Recomm.aspx)
- [4] Norme GAM EG13 - Annexe générale de mécanique et fascicule CINEG 01
- [5] Association pour les Sciences et Techniques de l'Environnement (ASTE) 1 place Charles de Gaulle 78180 Montigny le Bretonneux info@aste.asso.fr <https://www.aste.asso.fr/>
- [6] Journée technique mécanique ASTE – CEA CESTA Le Barp 7 décembre 2011
- [7] Journée technique mécanique ASTE – NEXTER Roanne 20 juin 2012
- [8] Journée technique mécanique ASTE – DGA Techniques Terrestres 19 mai 2016
- [9] Banvillet A., Colin B., Lelan P., Sévérité d'un niveau d'essai dans une démarche de garantie expérimentale , Colloque Lambda Mu, octobre 2018, Reims
- [10] B.Colin, Tracklayers : A complex vibration environment, Institute of Environmental Sciences, 1990, Proceedings, pp 663-678
- [11] B.Colin, Statistics of extreme values of stochastic processes generated by rotating machines and associated probabilistic reliability model, M&I 18, 215 (2017), EDP Sciences 2017, DOI : 10.1051/meca/2016028.
- [12] B.Colin, Fatigue vibratoire des processus stochastiques, générés par les machines tournantes et modèle de fiabilité probabiliste associé, Congrès CFM2015, 24 au 28 Août 2015, Lyon.
- [13] B. Colin, Characterization of random Gaussian and non-Gaussian stress processes in terms of extreme response, Matec Web of Conferences, edp sciences, October 2014, DOI: 10.1051/mateconf/20152006001
- [14] B. Colin, Characterization of random Gaussian and non-Gaussian stress processes in terms of vibration fatigue, Mechanics & Industry Vol, No (2018), DOI : 10.1051/meca/2017057
- [15] Colin B., Lelan P., Modélisation stochastique et extrapolation temporelle des chargements vibratoires par l'approche MBD , 22^{ème} Colloque Lambda Mu, Octobre 2020, Le Havre.
- [16] Colloque ASTELAB Mécanique PARIS 19 et 20 octobre 2016
- [17] Allied Environmental Conditions and Test publication (AECTP) 240 Mechanical Conditions
- [18] AFNOR XP X50-144-3, Démonstration de la tenue aux environnements - Conception et réalisation des essais en environnement - Partie 3 : Application de la démarche de personnalisation en environnement mécanique, 2 Juillet 2014.