

REF : PR ASTE 01-02

TITRE FRANÇAIS : Guide d'application de la démarche de personnalisation en environnement climatique

TITRE ANGLAIS: Guidelines for the Tailoring Process for the Climatic Environment in an armament program

ANALYSE : Ce guide explique la mise en œuvre de la démarche de personnalisation en environnement climatique. Il vient en appui à l'utilisation des normes du domaine. Parmi lesquelles se trouve en particulier la norme OTAN STANAG 4370 qui couvre les publications interalliées sur les conditions et essais en environnement (AECTP).

DESCRIPTEURS (mots-clés) : Démarche de personnalisation – Environnement – Mécanique – Profil de vie – Environnement climatique – synthèse en environnement - Spécification de Besoin – Dossier de définition – Dossier de justification de la définition - Qualification -

PROPRIETE : Le contenu de ce guide est la propriété intellectuelle du Ministère de la Défense. Il est provisoirement présenté dans cette forme sous l'égide de l'ASTE de manière à recueillir les remarques éventuelles des utilisateurs sur son contenu

MODIFICATIONS (principales modifications par rapport à l'édition antérieure) :

Édition	Date	Nature de l'évolution
01	6 décembre 2010	Edition originale

DOCUMENTS ABROGÉS PAR LA PRÉSENTE ÉDITION :

Référence	Date	Objet

SOMMAIRE

<u>1</u>	<u>INTRODUCTION</u>	<u>5</u>
<u>1.1</u>	<u>Préambule</u>	<u>5</u>
<u>1.2</u>	<u>Rappel historique</u>	<u>5</u>
<u>1.3</u>	<u>Structure du guide</u>	<u>5</u>
<u>1.4</u>	<u>Périmètre de la démarche de personnalisation en environnement</u>	<u>6</u>
<u>1.5</u>	<u>Enjeux</u>	<u>6</u>
<u>2</u>	<u>DEMARCHE DE PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE</u>	<u>8</u>
<u>2.1</u>	<u>Cadre d'emploi de la PCEC et les « types d'environnement »</u>	<u>8</u>
<u>2.1.1</u>	<u>Cadre d'emploi de la PCEC</u>	<u>8</u>
<u>2.1.2</u>	<u>Les « types d'environnement »</u>	<u>8</u>
<u>2.2</u>	<u>Les étapes de la démarche de personnalisation en environnement</u>	<u>9</u>
<u>2.2.1</u>	<u>Etape n°1 : Etablissement du profil de vie</u>	<u>9</u>
<u>2.2.2</u>	<u>Etape n°2 : Caractérisation de l'environnement réel</u>	<u>10</u>
<u>2.2.3</u>	<u>Etape n°3 : Détermination de l'environnement à simuler</u>	<u>10</u>
<u>2.2.4</u>	<u>Etape n°4 : Détermination du programme d'essais</u>	<u>11</u>
<u>2.3</u>	<u>Responsabilités dans l'application de la PCEC</u>	<u>13</u>
<u>2.4</u>	<u>Les sévérités d'essais forfaitaires et personnalisés</u>	<u>14</u>
<u>2.5</u>	<u>Normes de référence</u>	<u>15</u>
<u>2.5.1</u>	<u>STANAG 4370</u>	<u>15</u>
<u>2.5.2</u>	<u>DEF STAN 0035</u>	<u>21</u>
<u>2.5.3</u>	<u>MIL STD 810</u>	<u>22</u>
<u>2.5.4</u>	<u>CEN WS 10/EHDP</u>	<u>22</u>
	<u>ANNEXE A : Présentation des tâches « environnement » de la CIN EG1 avec une vue « programme »</u>	<u>24</u>
	<u>ANNEXE B : Détermination des données qui caractérisent les agents d'environnement : leur origine et le niveau d'assemblage auquel elles se rapportent</u>	<u>31</u>

Glossaire des acronymes et liste des symboles

CdCF	Cahier des Charges Fonctionnel
CDG	Centre De Gravité
CG	Coefficient de Garantie
CVr	Coefficient de Variation à la résistance
Cve	Coefficient de Variation à l'environnement.
DD	Dossier de Définition
DDL	Degré De Liberté
DP	Direction de Programme (ou un représentant)
DSP	Densité Spectrale de Puissance
EF	Eléments Finis
EMx	Etat-major (de l'Armée de l'Air, de l'Armée de Terre, de la Marine, des Armées) (ou un représentant)
FE	Facteur d'Essai
FCMx	Fiche de Caractéristique Militaire (Exploratoire, Provisoire, de Référence)
MMR	Dissymétrie du signal
MOI	Maitre d'Œuvre Industriel
OEM	Objectif d'Etat-major
PCEC	Prise en Compte de l'Environnement Climatique dans un programme d'armement
PM	Pas de quantification
RNPA	Référentiel Normatif des Programmes d'Armement
SDF	Spectre de Dommage par Fatigue
SNR	Signal sur Bruit
SRC	Spectre de Réponse au Choc
SRE	Spectre de Réponse Extrême
SRX	Spectre de Réponse à risque
STB	Spécification Technique du Besoin
CEI	Commission Électrotechnique Internationale

Objet du document

Ce document constitue un guide pour la « Prise en Compte de l'Environnement climatique dans un Programme d'Armement » (PCEC). Il entre dans le cadre de la démarche actuelle du ministère de la défense consistant à réduire les coûts des matériels produits, mis et maintenus en service dans les armées.

Il s'adresse aux :

- directeurs et officiers de programme, aux spécificateurs,
- aux bureaux d'études, aux bureaux de calcul, ... aussi bien étatiques, que industriels.

La prise en compte de l'environnement dans un programme suit la méthodologie générale décrite dans la **CIN EG 1**. A chaque phase du programme (à laquelle correspondent CdCF, STB, DD, DJD... jusqu'au retrait du service inclus) sont identifiées les actions permettant cette prise en compte de l'environnement. Ces actions sont diverses et se situent en grande partie dans le cadre des actions visant à :

- l'élaboration arborescente descendante des CdCF et des STB
- la participation à la définition des entités de l'arbre produit correspondants (DD),
- la validation ascendante des éléments de l'arbre fonctionnel et ceci aussi bien pour les fonctions techniques que de service.

Le présent guide ne s'appuie pas sur cette structure pour ne pas faire double emploi avec la **CIN EG 1**.

La spécificité du présent guide porte sur les aspects du métier environnement. Ces aspects sont abordés au travers de la démarche de personnalisation en environnement décrite ci-après (Cf. § 2). La vocation première de cette démarche est de définir des niveaux d'essais en environnement en se basant sur la connaissance de l'utilisation d'un système associé aux valeurs de l'environnement correspondant. Mais bien que cette démarche soit centrée sur les essais, le lecteur pourra s'en inspirer pour traiter toute autre action de prise en compte de l'environnement : achat sur étagère, prolongation de durée de vie, vieillissement,

Enfin il est important de savoir que ce guide considère uniquement l'environnement qui appartient au « domaine normal », pour lequel la fonction considérée du matériel doit être assurée avec les niveaux de performance spécifiés (Cf. § 2.1).

Les autres domaines sont traités ailleurs

1 INTRODUCTION

1.1 Préambule

La démarche d'écriture des spécifications d'essais, telle que présentée dans les normes, GAM-EG-13 ¹[GAM 86], DEF STAN 0035 (GB) [DEF **], MIL STD 810 (US) [MIL **], ou la norme OTAN STANAG 4370 [OTA **] qui a suivi, concernait la personnalisation des «essais en environnement », définie en fonction du Profil de Vie du matériel.

1.2 Rappel historique

Un « Essai en environnement » comporte une épreuve (correspondant à l'application d'un agent d'environnement) et des mesures fonctionnelles associées du matériel en essai. Il est utile de rappeler qu'historiquement les premiers Essais d'Environnement mis en œuvre à l'origine chez les industriels étaient définis de manière forfaitaire par l'intermédiaire des essais de « réception, appelés essais de recette, des matériels ». Plus tard est apparu le concept de « Qualification » en fin de développement. Dans la pratique, la majorité des essais, même personnalisés, intervenait postérieurement aux choix de définition, ce qui conduisait à aborder trop tardivement des problèmes qui auraient pu être pris en compte plus en amont, avec des conséquences induites importantes sur les coûts et délais.

Par ailleurs l'introduction de certains essais « personnalisés », non prévus initialement dans les Programmes, induisait des dépassements systématiques de budgets et de délais. La meilleure manière d'éviter ces écueils a été de prendre en compte les facteurs liés à l'environnement dès le début du développement du matériel.

Ceci a justifié une évolution visant à compléter la démarche initiale de «Personnalisation des Essais» par diverses actions mises en œuvre au cours du cycle de vie du matériel, depuis le début du développement jusqu'au retrait du service : cette démarche correspond à la notion de «PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT DANS UN PROGRAMME D'ARMEMENT»

Cette démarche élargie a été développée dans un document français : le CIN EG1 [CIN **] qui guide les différents acteurs étatiques et industriels en vue d'une prise en compte de l'environnement dans les programmes et ce « au juste nécessaire » afin de réduire les coûts. Ce document n'a pas vraiment d'équivalent sur le plan international et correspond donc à un besoin auquel aucun document ne répond actuellement sur le plan international. Dans la mesure où son contenu n'a pas été aligné sur les documents en vigueur sur le plan national et européen (EN 9200), la CIN EG 1 ne figure plus au RNPA.

1.3 Structure du guide

¹ L'utilisation de la GAM-EG-13 n'intervient normalement que pour les matériels déjà en service et non pour les programmes en cours d'acquisition et futurs pour lesquels le STANAG 4370 et les publications interalliées couvertes par ce STANAG sont recommandées. Dans le cas où la méthode d'essai à laquelle on doit se référer n'existe pas dans le STANAG 4370, ou que la méthode de la MIL STD 810 G ou de la DEF STAN 0035 est mieux adaptée au besoin décrit, le présent guide renverra à ces autres normes.

Malgré la « non-mise-à-jour » de la CIN EG1, le présent guide y renvoie pour la présentation de la démarche de prise en compte de l'environnement et pour la définition de termes en attendant qu'une version actualisée ne prenne sa place.

Ainsi la CIN EG 1 permet d'asseoir ce guide sur les 4 étapes de la démarche de personnalisation des essais.

C'est ce choix qui a été fait au départ de la rédaction du présent guide, à savoir de privilégier les bases et concepts techniques plutôt que la démarche organisationnelle d'ensemble des tâches à accomplir dans un programme. Comme une bonne partie des fondements techniques de la prise en compte de l'environnement dans un programme se retrouvait dans la démarche de personnalisation des essais, elle a donc structuré le présent document.

On trouvera cependant en annexe A et B des éléments qui permettent de replacer les actions « environnement » dans le cadre des différentes phases d'un programme en développement.

L'utilisation de cette démarche nécessite des données d'entrées qui correspondent notamment en ses deux premières étapes. Cependant, lorsque l'on est confronté à un manque de données au début d'un projet, il est toutefois courant de se référer à des sévérités d'essais forfaitaires et/ou refuge. Cependant, lorsque c'est pertinent, il faudra dès que possible remplacer ces valeurs forfaitaires par des valeurs issues d'une démarche de réflexion justifiée ; celle-ci aura fait intervenir une personnalisation sur tout ou partie de la démarche depuis l'analyse du profil de vie jusqu'à la sévérité d'essai.

1.4 Périmètre de la démarche de personnalisation en environnement

La démarche de personnalisation en environnement est l'art et la manière d'établir une spécification d'essais à partir d'un profil de vie (étape 1) et de la caractérisation de l'environnement correspondant (étape 2).

Il est supposé que les données de la caractérisation de l'environnement, sont valides. C'est à dire que tous les aspects relatifs aux mesures des agents d'environnement (choix des capteurs, implantation, ...), à leurs traitements à leurs analyses et leurs corrections sont acquis. Ces actions sont toutes très importantes et ont une incidence sur la qualité de la spécification d'essais obtenue à la dernière étape de la personnalisation.

Il n'existe pas à ce jour de guide pour la validation des données utilisées en entrée de la personnalisation climatique. On trouve des éléments disparates dans l'AECTP 200 du STANAG 4370, ainsi que dans certaines des normes nationales étrangères en vigueur, comme la MIL STD 810 G et le DEF STAN 0035.

A noter que ces normes ne possèdent pas un chapitre dédié à la démarche de personnalisation en environnement, bien qu'elles la préconisent. Cependant, elles abordent des sujets comme l'acquisition des données, la correction et la validation des données, les répertoires de données, les effets des agents d'environnement, les méthodes d'essais, la qualité des essais, la justification des sévérités forfaitaires

1.5 Enjeux

Le domaine couvert par les normes générales en environnement est celui des contraintes d'environnement :

- mécanique (contraintes statiques, vibrations, chocs, ...),

- climatiques (températures, hygrométrie, pression, rayonnement solaire, ...),
- et électromagnétique (agressions et compatibilité électromagnétiques).

L'objet de ces normes est d'organiser la relation client-fournisseur afin d'optimiser la prise en compte des environnements dans la conception et la réalisation des matériels. Ceci comporte des aspects techniques : le « comment faire ? », ainsi que de partage des responsabilités : le « qui fait quoi ? ».

L'idée directrice des normes générales d'environnement applicables dans le secteur de la défense recommande la mise en œuvre de la démarche de personnalisation des essais. Il s'agit d'adapter les spécifications d'un système de manière à satisfaire « au plus juste » les performances spécifiées, ce qui est économiquement justifié pour des systèmes réalisés en très petites séries, tels que les systèmes de défense².

A contrario, les normes civiles, comme la CEI, recherchent la standardisation des méthodes d'essai et des sévérités.

A cette idée directrice de mise en œuvre d'une démarche de personnalisation³, s'ajoute la volonté de responsabiliser le maître d'œuvre en vue d'atteindre les performances opérationnelles recherchées pour l'ensemble du domaine d'emploi, plutôt que sur un domaine limité, par un nombre d'essais convenus.

C'est ainsi que le maître d'œuvre définit le programme d'essai à tous les niveaux d'assemblage du système et s'engage sur la capacité de son programme d'essai à démontrer la bonne tenue du système sur l'ensemble du domaine d'emploi spécifié par le maître d'ouvrage. Son rôle est de définir et fournir les spécifications techniques de besoin (STB). Par exemple, si un système doit être utilisé dans telle région du globe, c'est au maître d'ouvrage de spécifier en « entrée du système », l'environnement climatique correspondant à cette zone.

Dans ce cadre de responsabilités, les normes « environnement » :

- encadrent la spécification technique du besoin émise par la maîtrise d'ouvrage,
- guident l'industriel dans la démarche de prise en compte de l'environnement d'une manière adaptée au besoin, ainsi que dans l'élaboration des sévérités d'essais,
- définissent les méthodes et procédures d'essai que doit utiliser l'industriel.

Ainsi, les normes d'environnement de la Défense structurent le partage des responsabilités contractuelles associées à cet aspect des programmes d'armement.

² Par exemple, la CEI base son approche conduisant à la définition du plan d'essais d'environnement pour la qualification d'un produit sur deux familles de documents :

- les normes CEI 60721-3 qui définissent des classes de groupements d'agents d'environnement en fonction de l'étape de vie du produit (stockage, transport et utilisation),
- les guides CEI 60721-4 qui donnent, en fonction des classes de groupements d'agents d'environnement retenues pour le profil de vie du produit, les essais génériques forfaitaires (souvent issus des normes d'essais d'environnement de la série CEI 60068-2) à prescrire dans le cadre de la qualification du produit. Les essais d'environnement spécifiés par ces guides ont pour objet d'apprécier l'aptitude d'un produit « à fonctionner de manière satisfaisante dans une classe de groupements d'agents d'environnement donnée » (essais d'évaluation). En revanche, ils n'ont pas vocation à valider la pérennité attendue pour ce produit (ce ne sont pas des essais d'endurance).

³ Les sévérités forfaitaires continuent à être un choix acceptable dans bien des cas : par exemple lorsque les données d'environnement réels ne sont pas disponibles, que le modèle d'équivalence de dommage n'existe pas, et c'est bien souvent le cas en particulier pour les essais climatiques (cf § 2.4).

2 DÉMARCHE DE PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE

Par souci de simplification, l'abréviation PCEC désignera la démarche de prise en compte de l'environnement climatique. Cette PCEC s'appuie sur les quatre étapes de la démarche de personnalisation en environnement (Cf. § 2.2). Le synoptique de la PCEC est illustrée figure 1. Cette notion recouvre des opérations réalisées dont l'environnement est fourni en entrée de chacune des étapes.

2.1 Cadre d'emploi de la PCEC et les « types d'environnement »

2.1.1 Cadre d'emploi de la PCEC

Comme il a été précisé précédemment, ce guide présente l'emploi de la PCEC dans le cadre du domaine dit « normal ».

Un environnement peut appartenir à trois domaines, définis par la performance effective de la fonction d'un matériel par rapport à la performance attendue :

- **le domaine normal**, pour lequel la fonction considérée du matériel doit être assurée avec les niveaux de performance spécifiés,
- **le domaine limité**, pour lequel la fonction considérée du matériel peut présenter une performance dégradée, tout en respectant les exigences de sécurité; cette dégradation devant être réversible lorsque l'on revient dans le domaine normal,
- **le domaine extrême**, pour lequel la fonction considérée du matériel peut présenter une performance dégradée irréversible tout en respectant les exigences de sécurité.

Il n'y a pas en soi un domaine d'environnement qui serait normal, un domaine qui serait limité et un domaine qui serait extrême. Ces domaines sont définis par rapport au niveau de performances fonctionnelles attendu et changent donc d'une performance à une autre d'une même fonction ou d'une fonction à une autre.

En France, la STB (Spécification Technique de Besoin) environnement (étapes 1 et 2 de la PCEC telles que définies ci-dessous) émise par la DGA se limite au domaine normal en entrée système. Les autres domaines sont traités par ailleurs dans la STB système.

2.1.2 Les « types d'environnement »

On distingue les types d'environnement suivants :

- **L'environnement réel**, qui est lui-même subdivisé en deux sous-types :
 - **l'environnement attendu** : c'est l'environnement que l'on décrit dans un cahier des charges,
 - **l'environnement spécifié** : c'est l'environnement que l'on décrit dans les STB ,
- **L'environnement retenu** : c'est un point de passage obligé avant de déterminer l'environnement à simuler. Il est obtenu en pondérant les données de l'environnement spécifié par un coefficient de garantie⁴. Ce coefficient rend compte de la variabilité de l'environnement,

⁴ Remarque : Le CG est utilisé dans le passage de l'environnement spécifié à l'environnement retenu. Il prend en compte à la fois la variabilité de l'environnement et la résistance à l'environnement.

- **L'environnement à simuler** : c'est l'environnement qui regroupe ou synthétise plusieurs environnements retenus,
- **L'environnement d'essai** : c'est le résultat de la transformation de l'environnement à simuler après la prise en compte :
 - du nombre de spécimens du matériel qui seront soumis aux essais. Ce nombre est pris en compte du facteur d'essai⁵,
 - des limitations des moyens d'essais,
 - du facteur d'accélération éventuel en cas de réduction de durée,
 - des méthodes d'essais normalisées,

2.2 Les étapes de la démarche de personnalisation en environnement

La démarche de personnalisation en environnement comporte quatre étapes et à chacune d'elle correspond un type d'environnement (Cf. § 2.3).

Ces quatre étapes sont les suivantes :

- **l'étape n°1** : elle consiste à établir un profil de vie du système ou du matériel considéré (Cf. § 3). Succinctement, ce profil de vie recense l'ensemble des situations (manutentions, transports, interventions, stockage, etc.) rencontrées sur la durée de vie du système,
- **l'étape n°2** : elle consiste à caractériser l'environnement réel d'environnements associés à chacune des situations répertoriées à l'étape n°1,
- **l'étape n°3** : elle consiste à déterminer l'environnement retenu et à en calculer et/ou synthétiser l'environnement à simuler,
- **l'étape n°4** : elle consiste à établir le programme d'essais en environnement (environnement d'essais).

2.2.1 Etape n°1 : Etablissement du profil de vie

Cette première étape consiste à analyser le concept d'emploi du matériel depuis sa sortie d'usine jusqu'à son retrait de service (par destruction ou démantèlement) afin de recenser les différentes situations, leur chronologie, leur occurrence et la présence effective ou non de tel ou tel agent d'environnement.

Chaque situation est définie par :

- son type : manutention, transport logistique, stockage, emport tactique, intervention sur le matériel, etc.
- sa durée,
- son occurrence, qui correspond au nombre de fois où le matériel rencontrera cette situation donnée au cours de sa durée de vie,
- diverses caractéristiques comme :
 - celles liées au porteur, avec son type, ses allures, la position du matériel durant le transport, la distance à parcourir (exemple : véhicule à roues de type G300, sur route bitumée à la vitesse moyenne de 70km/h sur une distance de 500 km),
 - celles liées au lieu où se situe le matériel, (exemple : abris lourds, abris légers, à ciel ouvert),

⁵ Le FE est utilisé dans le passage de l'environnement retenu à la sévérité d'essai : il prend en compte la variabilité de la résistance à l'environnement et le nombre de matériels en essai (c'est à dire le nombre d'essais réalisés sur des représentants d'un matériel de définition identique)

- celles liées au gerbage, à l'arrimage,
- profil de mission,
- son lieu géographique (exemple France métropolitaine, zones géographiques du STANAG 4370,
- toutes informations complémentaires utiles pour mieux définir l'environnement de chaque situation, comme la présence de fluides contaminants, de champs électromagnétiques, etc.

Cette dernière liste n'est en aucun cas exhaustive. Elle devra être complétée par toutes les situations où l'environnement réel peut affecter les caractéristiques du matériel à essayer.

Il importe de caractériser au mieux chacune des situations de façon à pouvoir déterminer, à l'étape suivante, l'environnement correspondant.

Le tome 1 – Elaboration du profil de vie, illustre une présentation possible des informations que doit contenir un profil de vie: un « logigramme » qui présente sous forme d'un arbre la succession des situations, quelques « fiches-cadre » pouvant servir à définir diverses situations, un tableau des occurrences qui définit pour chaque situation sa durée et son occurrence et un tableau de synthèse des agents d'environnement. Ce tableau répertorie la présence effective ou non de tel ou tel agent d'environnement.

2.2.2 Etape n°2 : Caractérisation de l'environnement réel

Les données d'environnement associées à chaque situation doivent être les plus proches du cas réel. Plusieurs cas peuvent être rencontrés :

- l'environnement réel est accessible : des mesures relevées dans des conditions identiques ou proches de celles de la situation considérée sont disponibles ou peuvent être réalisées,
- l'environnement réel peut être estimé : l'environnement peut être estimé par modélisation à partir de données réelles,
- l'environnement réel est inconnu : dans ce cas, elles sont constituées par des valeurs correspondant à des situations analogues (avec des porteurs ou des abris identiques) ou des données figurant dans divers documents à caractère normatif. Il est aussi possible de se référer à des niveaux forfaitaires définies dans des normes.

Remarque : Dans cette étape, les données qui caractérisent les situations sont des données brutes, validées mais non traitées.

2.2.3 Etape n°3 : Détermination de l'environnement à simuler

L'environnement retenu est déduit de l'ensemble des environnements déterminés à l'étape 2. Les environnements correspondant à certaines situations pourront être regroupés dans le cas où ces situations présenteraient des états, des configurations et des caractéristiques d'environnement similaires. Pour un agent donné, quelques situations pourront être négligées dès lors qu'elles mettent en jeu des contraintes trop faibles pour entraîner un endommagement significatif du matériel.

Cette étape implique donc la prise en compte des données technologiques du matériel (nature des matériaux constitutifs, traitements mis en œuvre, technologies d'assemblages, procédés de fabrication, ...). L'analyse du couple « matériel / données réelles d'environnement » permet

également, pour chaque situation du profil de vie, d'identifier les mécanismes de dégradations prépondérants. Cette identification peut aussi s'appuyer sur le retour d'expérience issu d'un matériel de technologie similaire exploité sous des contraintes environnementales voisines.

Nota : *L'étape 3 est l'étape de la synthèse des données : c'est au cours de cette étape que sont mis en œuvre les outils de traitement et de synthèse : représentants du dommage, moyennes, écarts-types, coefficients de garanti (CG).*

2.2.4 Etape n°4 : Détermination du programme d'essais

Le programme d'essais sera établi à partir de l'environnement à simuler, déterminé à l'étape 3 et en tenant compte des éléments suivants :

- existence de procédures d'essais définissant les méthodes à appliquer,
- existence des moyens d'essais avec des performances adéquates,
- état et configuration du matériel,
- chronologie des épreuves (qui doit être cohérente avec celle du profil de vie),
- faisabilité et coût des essais,
- etc.

Nota : L'essai concourt à la validation des fonctions (fonctions techniques en conception ou fonctions de service en qualification). L'essai est le moyen essentiel (voire unique) pour cette validation lorsque le matériel objet de la validation est novateur : forte évolution soit de la conception, soit des technologies mises en œuvre soit des conditions d'emploi. Dans le cas des matériels en évolution on pourra mettre en œuvre des modèles (analytiques et/ou numériques) incluant ou non des éléments réels, des calculs et ou des comparaisons avec des cas déjà rencontrés (base de connaissances, etc.).

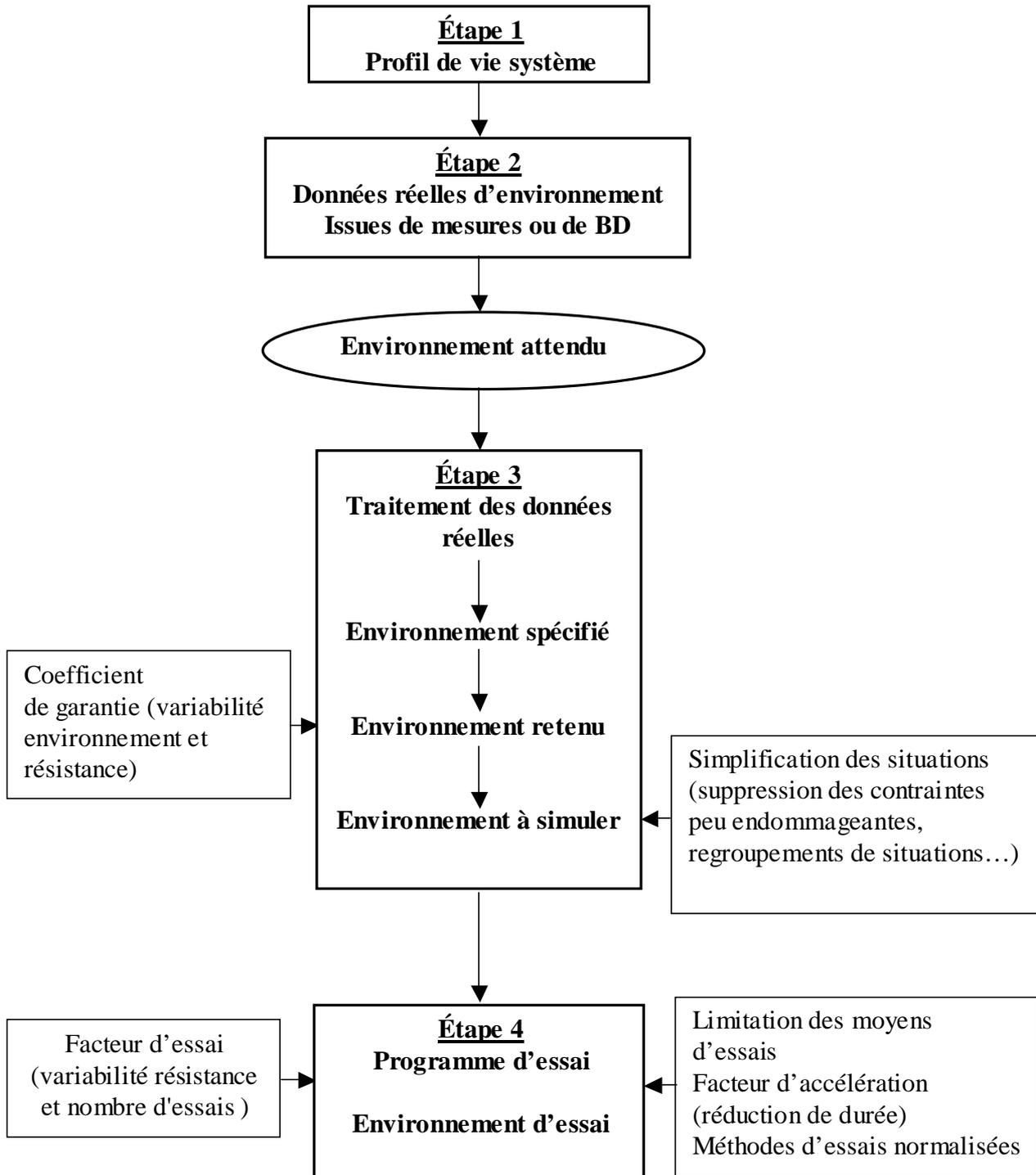


Figure 1 : Synoptique de la démarche PCEC

2.3 Responsabilités dans l'application de la PCEC

Les responsabilités dans l'application de la PCEC « au cours du cycle de vie du matériel » sont décrites dans le tableau 1 ci après.

Objectif dans le cadre du programme	Formalisation	Service en charge
Concept d'emploi : Profil de vie système Spécifications en environnement (système)	Etape 1 Recensement des situations rencontrées au cours de la vie du matériel	Services étatiques
	Etape 2 Détermination des données réelles d'environnement associées à chaque situation	Services étatiques
Profil de vie environnement	Etapes 1 et 2 Extraction à partir du profil de vie des situations correspondantes aux environnements climatiques significatifs	Maître d'œuvre
Conception : déclinaison industrielle	Etape 3 Détermination de l'environnement retenu	Maître d'œuvre (et sous-traitants)
Programme de qualification	Etape 4 Etablissement du programme d'essais	Maître d'œuvre (et sous-traitants)

Tableau 1: Responsabilité dans l'application de la PCEC

2.4 Les sévérités d'essais forfaitaires et personnalisés

La sévérité d'un essai d'environnement devrait être établie par comparaison du niveau d'endommagement obtenu sur un matériel soumis à l'essai au niveau d'endommagement du matériel obtenu à l'issue d'une exposition réelle donnée. La sévérité d'un essai d'environnement devrait ainsi dépendre étroitement des caractéristiques du couple « matériel / environnement réel retenu ». Les sévérités d'essais forfaitaires (essais issus de normes, de cahiers des charges industriels, ...) reposent souvent sur un consensus partagé reconnu dans des documents (normes, répertoires...) et/ou sur le retour d'expérience « maison » propre à un type d'environnement, associé à des conditions d'installation et d'emploi d'un type de matériel reconnues comme usuelles. Ces sévérités font rarement l'objet d'un document de justification explicitant les éléments utilisés. Cela dit, les sévérités forfaitaires continuent à être un choix acceptable dans bien des cas : par exemple lorsque les données d'environnement réels ne sont pas disponibles, que le modèle d'équivalence de dommage n'existe pas, et c'est bien souvent le cas en particulier pour les essais climatiques. Les essais forfaitaires doivent être remis en cause et tout ou partie de la démarche de personnalisation doit être engagée dès lors que :

- les justifications des sévérités des essais forfaitaires sont inexistantes ou incomplètes,
- les écarts entre l'éventuel profil de vie ayant servi à l'élaboration de la sévérité forfaitaire et le profil de vie réel sont significatifs,
- les écarts entre le matériel ayant servi à l'élaboration de la sévérité forfaitaire et le matériel à qualifier sont significatifs.

Par opposition aux sévérités forfaitaires, les sévérités d'essais qui ont été adaptées à un cas particulier sont dites « personnalisées ». Leur obtention requiert un travail d'expertise en environnement pour :

- identifier les situations (et/ou évènements) prises en compte,
- les positionner dans la portion du profil de vie considéré (chronologie relative des situations),
- déterminer le tableau des occurrences,
- caractériser l'environnement des situations,
- regrouper les situations et/ou évènements,
- synthétiser les situations,
- élaborer la sévérité d'essai.

Lorsque, en première approche, on retient des essais de sévérités forfaitaires, on utilise le vocable de sévérité « refuge », dont le caractère même de refuge est explicite (le service rendu est momentané). La sévérité « refuge » provient souvent d'un essai en environnement qui a été appliqué dans le cadre de programmes antérieurs arrivés au terme de leur développement. L'utilisation d'un essai de sévérité « refuge » permet :

- d'apporter une solution d'attente avant les résultats de la caractérisation de l'environnement réel à l'étape 2 de la démarche de personnalisation,
- de conforter le spécificateur dans son choix des essais et sévérités associées par comparaison entre les résultats de la démarche de personnalisation et ces sévérités forfaitaires ou refuges.

Mais, toute utilisation abusive d'essais de sévérités forfaitaires ou refuges est fortement déconseillée, car pouvant conduire à des matériels sous ou sur dimensionnés.

2.5 Normes de référence

2.5.1 STANAG 4370

Toutes les normes nationales⁶ ou internationales de la Défense (DEF STAN 0035 ; MIL STD 810 ; STANAG 4370, ...) proposent des sévérités forfaitaires en attendant mieux à savoir la caractérisation des conditions réelles d'emploi conduisant généralement à la démarche de personnalisation.

On peut citer :

- En France, le RNPA retient l'utilisation du STANAG 4370 relatif aux essais en environnement et des publications interalliées couvertes par ce STANAG :
 - AECTP 100 Prise en compte de l'environnement pour les matériels de défenses,
 - AECTP 200 Définition des environnements (en cours de refonte),
 - AECTP 300 Essais en environnement climatique,
 - AECTP 400 Essais en environnement mécanique,
 - AECTP 500 Essais en environnement électrique, électromagnétique (en cours de refonte).

Les AECTP sont téléchargeables sur www.nato.int/docu/standard.htm.

2.5.1.1 AECTP 100

Préambule : comme justifié au §2.4.4 ci après, l'AECTP 100 en l'état ne répond pas au besoin français. Cependant, il est important d'en connaître le contenu et on pourra s'en inspirer dans le cadre du déroulement de la démarche du présent guide. Dans chacun des tomes attachés à ce guide, des extraits de l'AECTP 100 sont présentés pour information. Ils peuvent tout à fait servir de source d'inspiration.

2.5.1.1.1 DEVELOPPEMENT D'UN PROGRAMME SELON AECTP 100

⁶ Il est difficile de ne pas évoquer au titre de notre histoire nationale, la GAM T 13 devenue GAM EG 13, qui ont constitué la référence nationale en matière de normalisation d'essais en environnement dans les années 1976 à 2006. La décision a été prise par le RMN (Responsable Ministériel à la Normalisation) de subordonner les normes nationales de défense françaises aux STANAG et en conséquence d'arrêter les travaux de maintien et développement pour les normes nationales déjà prises en compte dans les STANAG. Cela dit, la méthodologie de prise en compte de l'environnement climatique (constituée du présent guide et de l'Annexe Générale Climatique associée) n'ayant pas d'équivalent, l'effort de développement et maintien de ces documents est soutenu par la DGA.

Il faut également citer les 2èmes parties de la GAM EG 13 :

- GAM EG 13A guide de choix pour les matériels bords des véhicules à roues et à chenilles,
- GAM EG 13B guide de choix pour les matériels bords des avions et des hélicoptères
- GAM EG 13C guide de choix pour les matériels bords des bâtiments navals,
- GAM EG 13C guide de choix pour les matériels bords des missiles
- GAM EG 13C guide de choix pour les matériels sols

qui n'ont plus cours également mais dont le contenu peut inspirer le spécificateur en mal d'informations pour le choix des essais et des sévérités d'essai. Ces documents ne sont pas à utiliser en aveugle et toute utilisation inspirée par ces documents devra trouver une justification dans leur cadre d'emploi. Le lecteur trouvera ces guides, en format pdf, dans le répertoire « éléments pour AGC (Annexe Générale Climatique) – Sous répertoire « normes anciennes ».

Il s'agit d'un processus en 10 étapes similaire à celui de l'AECTP 600 pour l'extension des durées de vie. La démarche est applicable à tout type de matériel bien qu'elle ait été pensée initialement pour les charges extérieures emportées sous aéronef.

Etape 1 : vérifier l'existence et la validité des données qui supportent le Life Cycle Environmental Profile (LCEP = étape 1 et étape 2 de la démarche du guide)

En l'absence de données d'environnement, on pourra s'appuyer sur l'AECTP 300.

Il est important que les données prises en compte pour l'établissement d'un programme d'essais de qualification soient validées et stables, car les conséquences d'une remise en cause pourraient être très graves.

Il faut également s'assurer que les données sont présentées sous une forme exploitable (par exemple, voir § 6.1 du tome 1 du présent guide).

Pour les matériels sensibles et/ou contenant des matériaux énergétiques, il pourrait être nécessaire de conduire des vérifications des conditions d'environnement pour accroître le niveau de confiance.

Etape 2 : examiner les entrées « programme »

- Examiner le document « General Environmental Management Plan (GEMP)» qui donne la logique de validation. Correspond en France au Plan de Prise en Compte de l'Environnement de la CIN EG 1.
- Le but de ce document est de définir, dès que possible dans le projet, les spécifications se rapportant à l'environnement et les tâches s'y rapportant.
- Le GEMP est l'une des premières tâches à accomplir pendant le développement d'un matériel de la défense ; il définit les plans pour accomplir les tâches environnementales dans tout le projet. Le plan devrait refléter le type de fourniture, par exemple, matériel développé spécifiquement ou matériel sur étagère.
- Il inclut une liste des documents à préparer et fournit les dates d'accomplissement.
- pendant la préparation du GEMP, des conseils devraient être recherchés auprès des spécialistes en environnement.

Etape 3 : examiner les données d'entrée prises en compte en conception

Le propos est ici d'évaluer la robustesse du matériel, donc des performances sensibles à marge faible. Il est peu probable que cette information soit disponible : elle mérite cependant de gros efforts pour l'extirper des concepteurs.

Une attention particulière doit être apportée aux modes de défaillance attendus aux différents niveaux d'assemblage, de telle sorte qu'on en tienne compte dans le choix des agents d'environnement de l'étape 1 ci-dessus. On pourra au moins s'inspirer des modes de défaillance décrits dans le § 2 du tome 2.

Etape 4 : constituer une liste des agents d'environnement critiques

Cette liste agents d'environnement critiques est basée sur l'identification des points faibles aux différents niveaux d'assemblage, sur la prise en compte de la stratégie du programme et des analyses des agents d'environnement faites dans l'étape 1 du LCEP.

On devrait établir cette liste pour chaque phase du cycle de vie : par exemple transport et stockage, déploiement sur porteur, mission et maintenance.

Chacune de ces listes devrait inclure (si pertinent) :

- des vibrations;
- des chocs (secousses et/ou chute libre);
- de la température haute (sèche et/ou chaleur humide);
- de la température basse;
- des contraintes thermo-mécaniques induites par des chocs thermiques et/ou par des cycles diurnes;
- du sable et poussières ;
- de l'eau (pluie naturelle ou effet induit).

Etape 5: améliorer les jeux de données d'environnement

En utilisant des représentations synthétiques comme celles du § 6.1 du tome 1, au § 3 exemple 3 du tome 5, ou du § 3.2.6 du tome 4, on élabore la liste des jeux d'environnements séquentiels critiques

On devra prendre en compte les objectifs recherchés ; par exemple,

- s'il s'agit de démontrer la capacité opérationnelle, les conditions opérationnelles en mission sont à prendre en compte,
- s'il s'agit de démontrer que le matériel survivra à des conditions sévères pour fonctionner ensuite dans des conditions peu sévères, cela devra apparaître dans la séquence d'essais,
- s'il s'agit de démontrer le maintien des performances opérationnelles en fin de vie utile, il faudra alors induire un vieillissement au matériel avant de vérifier ses performances.
- Le succès de cette démarche d'établissement des séquences d'essais dépend de la rigueur avec laquelle les modes de défaillance potentiels ont été recherchés et la façon dont les essais séquentiels sont en mesure de les reproduire`
- cf § 3 du tome 3 où un exemple est présenté.

Etape 6: transformer en un jeu de méthodes d'essais et sévérités d'essai

Le GEMP devrait indiquer le niveau de représentativité à rechercher pour les essais. Par exemple, ce niveau devrait être élevé pour des matériels contenant des matériaux énergétiques et des essais personnalisés pourraient être nécessaires.

La conversion des environnements en sévérités d'essais est très dépendante de la sensibilité des matériels (cf exemple 3, tome 5)

Etape 7 : améliorer la séquence et le programme d'essai développé à l'étape précédente

- prendre en compte les environnements combinés (par ex. vibration et température) s'ils sont susceptibles d'activer plus efficacement le ou les modes de défaillance attendus,
- pour les équipements contenant des matériaux énergétiques, ou pour les équipements « mono-coup » (missile,...), mettre en œuvre des séquences comme ci-après :

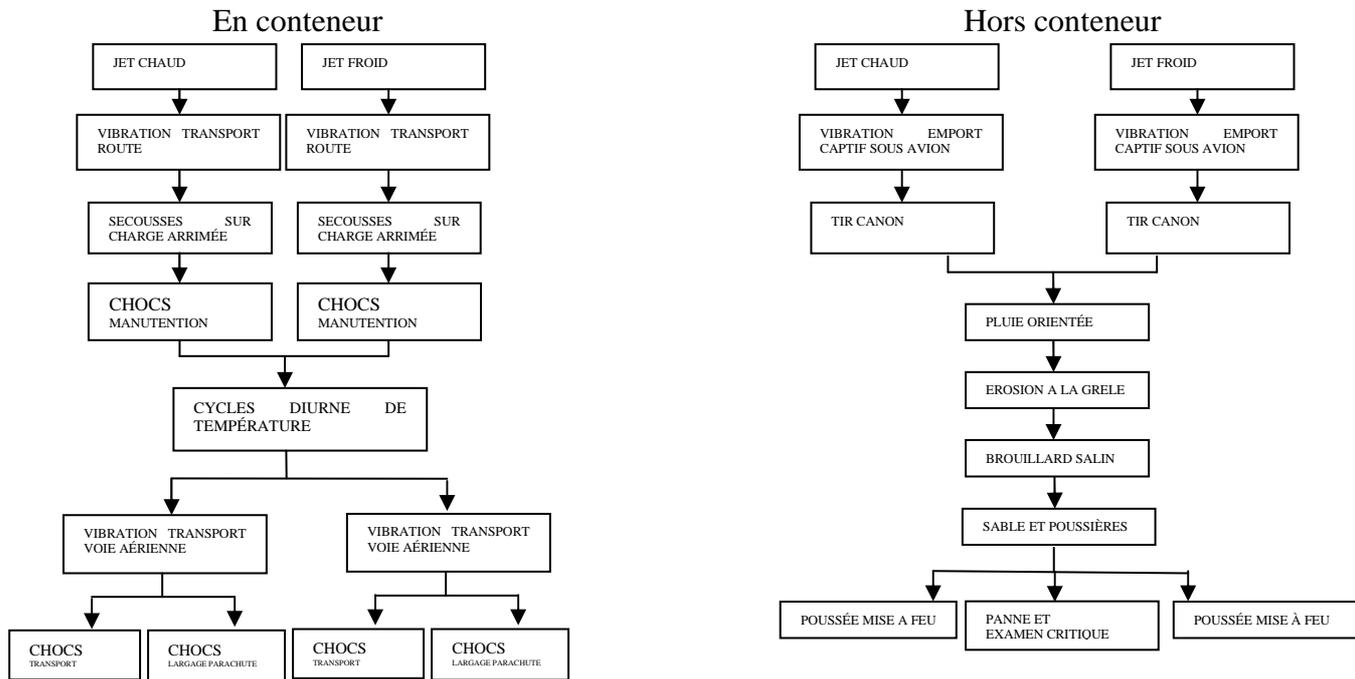


Figure 2 : Exemple de programme d'essai séquentiel

- Il peut être possible en réalisant des essais avec combinaison d'agents d'environnement de stimuler les mêmes mécanismes de défaillance que lors des essais élémentaires non combinés. Cela concerne en général des équipements de même configuration, sinon des différences de « fonctions de transfert » seraient à considérer,
- S'assurer de la complétude des actions de validation vis-à-vis de tous les environnements critiques,
- Définir les environnements normaux, limites, extrêmes pour les fonctions de service mais aussi les fonctions techniques.

Etape 8 : trouver le meilleur compromis entre les essais prévus aux différents niveaux d'assemblage

- à la fin de la rédaction d'un programme d'essais de qualification en environnement, optimisez l'efficacité de la validation entre les différents niveaux d'assemblage, en considérant également les démonstrations par des modèles ou par des cas similaires,
- la réalisation d'essais au niveau système est souvent source de difficulté par non disponibilité d'un moyen d'essais adapté : il faudra alors reporter les validations au niveau d'assemblage inférieur en veillant à évaluer les nouvelles conditions d'entrée

Etape 9 : reconsidérer les contraintes de coût et délais

Revoir le programme d'essais en cherchant à réduire les coûts et réduire les délais par des modifications acceptables sur le plan technique.

Etape 10 : rédiger les documents pré-essais

Cette étape consiste à rédiger les programmes des essais d’environnement, incluant la séquence d’essais développée dans la démarche en 10 étapes.

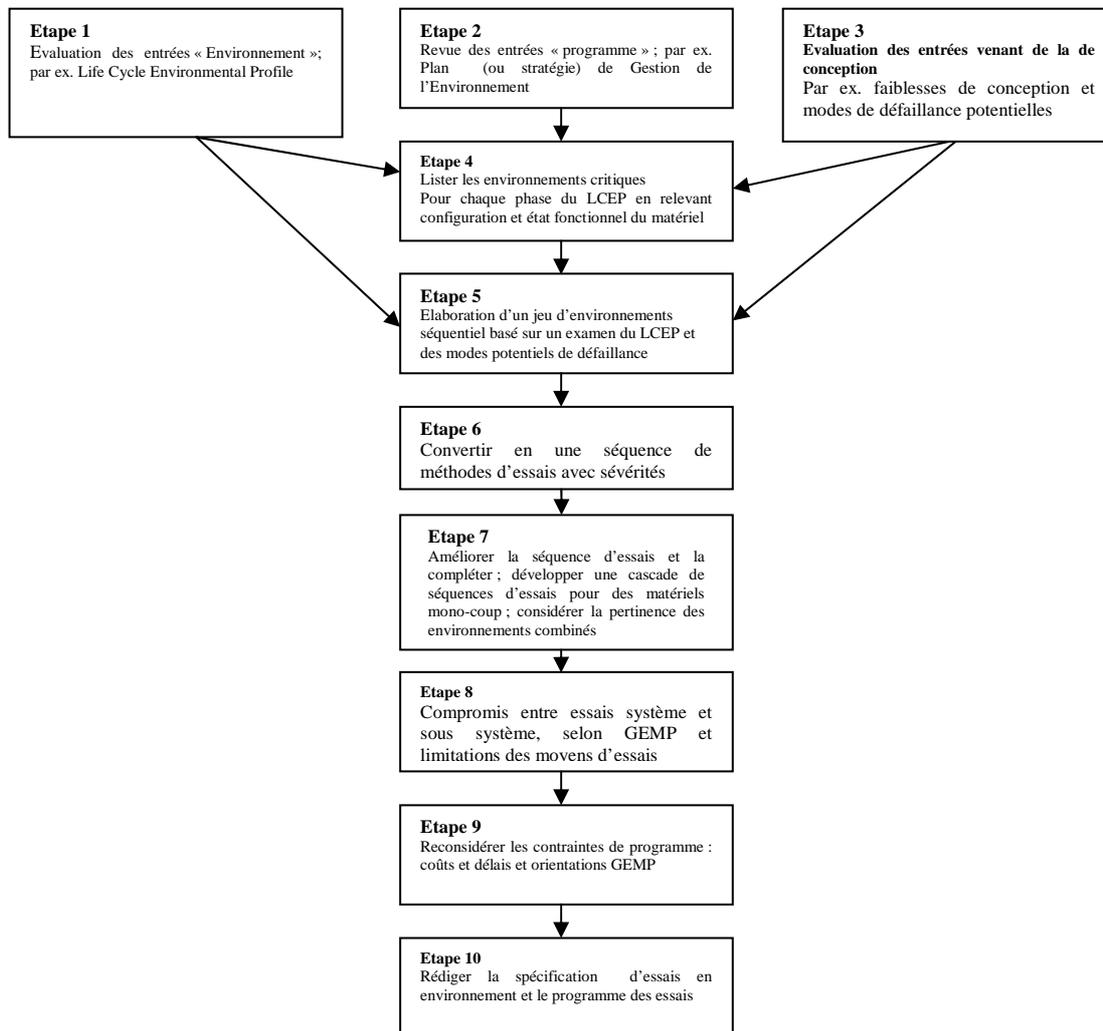


Figure 3 : Processus de développement d’un programme séquentiel d’essais

2.5.1.2 AECTP 200

Les AECTP 200 de la norme **STANAG 4370** caractérisent différentes situations par des valeurs typiques et proposent des méthodes d’essais préférentielles permettant de couvrir les effets des environnements par segment du cycle de vie.

Dans l’élaboration d’un programme d’essais, il faut engager de manière préférentielle une démarche de personnalisation. Les données d’environnement à utiliser peuvent provenir de mesures de l’environnement réel, de l’expérience des programmes antérieurs, de calculs. Lorsque l’on ne dispose pas de ces données (nouvel emploi, nouveau porteur, nouveaux moyens de manutention, etc.), on peut utiliser des données à caractère forfaitaire qui doivent être remplacées lorsque cela est pertinent dès que possible, quand les informations deviennent disponibles, par des sévérités personnalisées.

2.5.1.2.1 But

- a. La série de fascicules du chapitre 230 présente les caractéristiques et des échantillons de données de conditions climatiques normales et induites qui influencent la conception du matériel. Les conditions climatiques induites sont les conditions environnementales ambiantes résultant de la modification des conditions climatiques normales par la structure dans laquelle est installé le matériel.
- b. Le fascicule 231 donne des conseils généraux sur les types et les causes d'environnements climatiques normaux et induits, et fournit l'information qui s'applique à une série de porteurs portant le matériel. Les environnements induits inclus sont :
- la température (rayonnement solaire y compris),
 - l'humidité,
 - la pression atmosphérique,
 - la pression hydrostatique,
 - la glace,
 - le sable et poussières,
 - l'immersion,
 - l'érosion par Impact,

Le fascicule 231 devrait être consulté avant tous les autres fascicules du 230.

- c. Les fascicules 232 à 239 couvrent différents segments de cycle de vie que le matériel peut rencontrer et suivent un format normalisé. Pour chaque segment de cycle de vie, les caractéristiques des environnements induits appropriés sont décrites pour chaque ensemble de circonstances qui peuvent s'appliquer. Les effets préjudiciables potentiels de ces environnements sont décrits, et des conseils sont donnés sur le choix des méthodes et des sévérités d'essai.

2.5.1.2.2 Portée

- Le chapitre 230 complète, amplifie, et prolonge l'information précédemment contenue dans le STANAG 2895 en identifiant les effets préjudiciables potentiels que les conditions environnementales normales et induites ont sur le matériel, et en fournissant des conseils sur le choix des méthodes appropriées d'essai.
- La série de fascicules du chapitre 230 est organisée autour des segments de cycle de vie. Les fascicules se concentrent sur les effets de l'environnement normal, ou sur le processus par lequel des environnements rencontrés par le matériel sont transformés par des facteurs environnementaux inhérents aux conditions circonstancielles, aux porteurs, ou à d'autres matériels qui les entourent. Ces fascicules ne sont pas prévus pour être complets. Les AECTP 100 et 300 (et d'autres sources d'informations importantes) doivent être utilisés en même temps. Ces fascicules fournissent des informations sur les conditions climatiques qui devraient permettre de constituer un ensemble complet et représentatif d'essais d'environnement.
- Le chapitre 230 ne liste pas les environnements accidentels, les conditions hostiles ou les effets nucléaires.

2.5.1.2.3 Applications

L'information contenue dans la série de fascicules du chapitre 230 est prévue pour l'usage dans les applications suivantes :

- permettre à des clients de se poser les questions pertinentes pour confirmer que les caractéristiques environnementales clefs ont été, ou seront adressées par les constructeurs ou les coopérants,
- aider les ingénieurs de projet à identifier à partir du profil environnemental du cycle de vie tous les environnements importants pouvant influencer les phases clef de développement (STB, DD, DJD),
- aider les ingénieurs de projet à une prise en compte de l'environnement en conception en fournissant les données environnementales caractérisées qui les aideront pour choisir de meilleures valeurs initiales en conception,
- aider les ingénieurs d'études en indiquant les modes de défaillance potentiels que les caractéristiques environnementales spécifiques pourraient induire, et en fournissant de ce fait des indicateurs à suivre pendant la conception et l'essai,
- aider les ingénieurs d'essais élaborant des spécifications d'essai en considérant les effets des environnements climatiques et en indiquant quelles méthodes d'essai sont préférables. Les méthodes d'essai contenues dans l'AECTP 300 sont recommandées autant que possible,
- aider les ingénieurs en charge des mesures d'environnement réel à acquérir des données de bonne qualité. Cet aspect est couvert dans ces fascicules. De telles données sont employées principalement pour formuler des niveaux d'essai pour des essais de qualification.

2.5.1.2.4 Fascicule 2310

Le fascicule 2310 de l'AECTP 200 joue un rôle central par rapport à l'objectif du présent guide de prise en compte de l'environnement climatique. Son objectif est en effet de :

- fournir des méthodes d'ensemble pour élaborer des procédures d'essais valides.
- fournir aux experts de l'environnement une aide sur la façon de rassembler et analyser des données d'environnement réel aux fins de l'évaluation de l'effet des agents thermique et chimique sur le vieillissement du matériel.

2.5.1.3 AECTP 300

Les méthodes d'essais de l'AECTP 300 proposent des méthodes d'essais et des sévérités d'essais tout en recommandant de les actualiser à partir de relevés d'environnement réel.

2.5.2 DEF STAN 0035

Au Royaume Uni, la **DEF STAN 0035 [DEF **]** indique que :

- la sévérité d'essai et les autres paramètres d'essai devraient être fondés sur l'objectif pour lequel est mené cet essai et sur les conditions que le matériel est susceptible de rencontrer en service. Idéalement les sévérités d'essais devraient être fondées sur les données tirées de mesures dans des conditions de service et d'utilisation,
- des sévérités « génériques » pour simuler de nombreuses conditions en service sont présentées dans l'annexe A de la partie 3 de la norme. La sévérité et d'autres paramètres d'essai figurant à l'annexe B doivent être utilisés dans les cas où une simulation plus précise est inutile et où un « sur-test » peut être toléré sans préjudice. Les sévérités de l'annexe B sont destinées à la réalisation d'essais de conception et ne sont pas habituellement appropriées pour l'homologation de type ou pour des essais de qualification.

2.5.3 MIL STD 810

Aux Etats-Unis d'Amérique, la MIL STD 810 [MIL **] indique que la personnalisation est considérée comme essentielle (à partir de la version D). La sélection des méthodes, des procédures et des paramètres d'essais basée sur la personnalisation est décrite dans le paragraphe 4 de la première partie, à l'annexe C.

2.5.4 CEN WS 10/EHDP

Dans le cadre du **CEN CENELEC** à Bruxelles, il a été mis en place un atelier appelé « Workshop 10 » afin d'élaborer ce qui pourrait devenir par la suite un répertoire normatif européen pour les programmes d'armement (EHDP – European Harmonization in Defense Programs), recommandant les méthodes à mettre en œuvre dans un développement.

Pour le domaine de l'ingénierie de l'environnement qui couvre :

- les méthodes d'essais en environnement mécanique et climatique,
- la méthodologie de prise en compte de l'environnement dans un développement,
- les guides pour développer les sévérités d'essais en environnement mécanique et climatique,
- les répertoires de données d'environnement.

Un groupe de travail spécialisé a élaboré en 2005 un document intitulé : « Report of Expert Group Environmental Engineering - Selection and Comparison of Standards - Recommendations for Future Harmonisation - Final Report - 29th June 2005 ».

Une actualisation dite « phase 3 » est disponible depuis début 2011.

Pour l'essentiel, le document issu des travaux de la phase 3 de l'EG8 :

- recommande préférentiellement les méthodes d'essais de l'AECTP 300 et 400 mais aussi celles de la CEI 60068, de la MIL STD 810 G, de la DEF 0035 lorsqu'elles s'avèrent meilleures que les méthodes correspondantes des AECTP 300 ou 400,
- pour la méthodologie générale de prise en compte de l'environnement dans un développement, le consensus est de considérer qu'il y a en l'état, carence d'un document international acceptable ; en effet, l'AECTP 100 en l'état ne répond pas au besoin, car les aspects suivants ne sont pas couverts :
 - pas d'identification des tâches environnement par phase du cycle de vie (CdCF,...retrait du service),

- pas de gestion (méthode générale) de la variabilité de l'environnement et de celle du produit face à cet environnement (Coefficient de garantie et facteur d'essai),
- pas de différenciation des actions se rapportant d'une part aux fonctions de service (vues par le client dans la relation client/fournisseurs à travers la STB de plus haut niveau, le DD et le DJD), et d'autre part aux fonctions techniques vues en conception en (avec un risque de migration en exploitation du bas niveau d'assemblage vers le haut niveau d'assemblage de défauts non révélés en qualification),
- tous ces aspects sont par contre couverts par la CIN EG 1, laquelle bien que traduite en anglais reste à « internationaliser » ; il est donc recommandé de développer une méthodologie européenne basée sur la CIN EG 1 et sur d'autres apports européens comme la DEF STAN 0035,
- pour la méthodologie de prise en compte de l'environnement mécanique dans un développement, le consensus est de considérer qu'il y a en l'état, carence d'un document international acceptable : l'AECTP 2410 en l'état, ne répond pas au besoin, car des erreurs importantes y figurent ; le guide de prise en compte de l'environnement mécanique français, qui est en phase d'enquête pour obtenir le statut de Norme Défense, a quant à lui un contenu adapté aux besoins français, n'a pas d'équivalent international, mais bien que traduit en langue anglaise reste à « internationaliser ». La recommandation de l'EG8 est donc de développer une méthodologie européenne basée en particulier sur le PR NORMDEF 01-01 ,
- pour la méthodologie de prise en compte de l'environnement climatique dans un développement, le consensus est de considérer qu'il y a en l'état, carence de document international acceptable : l'AECTP 230 en l'état, ne couvre pas certains points importants :
 - une méthodologie d'élaboration du profil de vie
 - pas de gestion (appliquée à l'environnement climatique) de la variabilité de l'environnement et de celle du produit face à cet environnement (Coefficient de garantie et facteur d'essai),
 - pas de prise en compte des modèles de dégradation.
- Le présent guide de prise en compte de l'environnement climatique a quant à lui un contenu adapté aux besoins français, n'a pas d'équivalent international ; sa traduction en langue anglaise, reste à faire. La recommandation de l'EG8 est donc de développer une méthodologie européenne basée en particulier sur le présent guide climatique.

ANNEXE A : Présentation des tâches « environnement » de la CIN EG1 avec une vue « programme »

1^{er} GROUPE DE TACHES

IDENTIFICATION DU PROFIL DE VIE, DES FONCTIONS DE SERVICE ET DES PERFORMANCES ASSOCIEES

Ce groupe de tâches consiste en :

- 1 – L'identification des différentes situations du profil de vie du produit depuis sa sortie d'usine jusqu'à sa réforme en prenant en compte les transports, les manutentions, le stockage, la maintenance et les différents types d'utilisation avec les durées et les occurrences respectives
Cette identification est à conduire jusqu'aux niveaux jugés pertinents dans chaque branche de l'arborescence technique du produit au fur et à mesure que celle-ci est définie
- 2 – L'identification des fonctions de service et des fonctions techniques (cf. appendice 1) rendues nécessaires par les solutions techniques adoptées pour remplir chaque fonction de service.
L'identification des fonctions techniques doit être faite soigneusement car les choix d'architecture et les entités mises en œuvre correspondantes peuvent induire ou accentuer certains agents d'environnement, lesquels seront caractérisés dans le 2^{ème} groupe de tâches.
Cette identification est à conduire aux différents niveaux de l'arborescence technique du produit au fur et à mesure que cette arborescence est définie.
- 3 – L'identification des performances et des tolérances correspondantes de chacune des fonctions de service et des fonctions techniques.
- 4 – L'identification des éléments utiles permettant ultérieurement la classification des agents d'environnement vis-à-vis de chaque fonction de service ou technique considérée, en domaines d'environnement normal, limite ou extrême.
- 5 – L'identification du lien entre chaque situation du profil de vie et les fonctions de service et techniques qui y sont sollicitées.
- 6 – L'identification des entités (système, équipement, composant) participant à la réalisation de chaque fonction de service ou technique.

2^{ème} GROUPE DE TACHES

CARACTERISATION DES SITUATIONS PAR AGENTS D'ENVIRONNEMENT

Ce groupe de tâches consiste en :

- 1 – La caractérisation de chaque situation du Profil de vie par des agents d'environnement considérés comme significatifs et/ou pertinents à l'aide :
 - des modèles de comportement validés par l'expérience,
 - de l'exploitation globale du retour d'expérience.En fonction de l'expérience acquise, on précisera ou on étudiera les combinaisons des agents d'environnement qu'il est important de respecter.
- 2 – La détermination des valeurs de chacun des agents d'environnement à l'aide
 - de mesures antérieures d'environnement réel,

- de valeurs typiques synthétisées à partir de relevés antérieurs d'environnement réel
- de modèles de calcul de l'environnement réel validés par l'expérience,
- d'essais partiels,
- de mesures spécifiques «in situ » d'environnement réel.

- 3 – L'actualisation des agents d'environnement spécifiés par la prise en compte des effets induits par les choix de conception (agents d'environnement induits par les entités réalisant les fonctions techniques et les choix d'architecture correspondants, effets de proximité, effets mutuels, interactions dynamiques entre le matériel et son support et / ou porteur) ou par les choix de procédés de fabrication (exemple : fuite résistive d'un point de colle générant un courant induit, phénomène de microphonie, ...).
- 4 – La partition des agents d'environnement caractérisés dans les deux étapes précédentes en domaines normal, limite est extrême et ceci pour chaque performance caractérisant chaque fonction de service spécifiée et chaque fonction technique définie.
- 5 – Un passage de l'agent d'environnement spécifié à l'agent d'environnement retenu en prenant en compte un facteur appelé coefficient de garantie (cf. Appendice 2).

La prise en compte de ce coefficient de garantie participe à la construction de la robustesse (cf. définition en appendice 2) du produit.

Ce coefficient de garantie est égal au rapport de la valeur moyenne de la limite de tenue du produit à l'agent d'environnement considéré à la valeur spécifiée représentant cet agent d'environnement.

$$K = \frac{\text{valeur moyenne de la limite de tenue du produit à l'environnement}}{\text{Valeur représentant l'environnement spécifié considéré}}$$

Le calcul de ce rapport prend en compte :

- la probabilité maximale acceptable que la limite de tenue à l'agent d'environnement considéré de la performance considérée du produit réalisé soit inférieure à l'une des valeurs prises par l'agent d'environnement considéré,
- la loi de distribution des valeurs prises par l'agent d'environnement considéré (caractérisé par le type de loi, la valeur moyenne et l'écart type) d'une réalisation à l'autre ce cet agent d'environnement,
- la loi de distribution des valeurs prises par la limite de tenue de la performance considérée d'un exemplaire à un autre du produit réalisé vis-à-vis de l'agent d'environnement considéré (caractérisée par le type de loi et le coefficient de variation (ratio écart type sur moyenne)).

Nota : La notion de limite de tenue (ou de résistance) à l'environnement doit être comprise au sens large comme étant la valeur de l'environnement qui conduit la performance considérée à la limite de tolérance.

La transformation de l'environnement spécifié en environnement retenu nécessite de choisir la (ou les) grandeur(s) représentant ou caractérisant l'agent d'environnement considéré et sur lequel (lesquels) sera appliqué le coefficient de garantie. Ce choix dépend essentiellement de la sensibilité de la performance considérée à ces grandeurs. Cette sensibilité est liée aux choix de définition (conception, composants, procédés, conditions particulières d'utilisation).

Exemples :

* Chaleur sèche ou froid

La grandeur retenue pourra être la température, ou le temps passé à cette température, ou tout paramètre déterminant les échanges thermiques, etc ...

* Variation de température :

La grandeur retenue pourra être la température, ou le temps passé à chaque température, etc ...

* Choc mécanique ou accélération en fonction du temps, ou le spectre de réponse extrême, ou le spectre de dommage par fatigue, etc

* Champ électrique ou magnétique (en mode rayonné) :

La grandeur retenue pourra être l'amplitude du champ électrique ou magnétique à une fréquence donnée, le temps passé à une amplitude et fréquence donnée, etc

* Courant ou tension induits (en mode conduit) :

La grandeur retenue pourra être l'amplitude du courant ou de la tension induite à une fréquence donnée, le temps passé à une amplitude et fréquence donnée, etc ...

* Courant ou tension induits (en mode conduit) :

La grandeur retenue pourra être l'amplitude du courant ou de la tension induite à une fréquence donnée, le temps passé à une amplitude et fréquence données, etc ...

Nota : il faudra veiller à ce que l'application du coefficient de garantie ne conduise pas à des non représentativités liées à des phénomènes de seuil, par exemple :

- dépassement de précontrainte mécanique en vibrations,
- dépassement de la température de transition vitreuse d'un élastomère.

6 – Une actualisation des agents d'environnement (nature et valeur) spécifiés et retenus en prenant en compte les mesures spécifiques « in situ » d'environnement réel quel que soit le moment où sont réalisées les mesures y compris la phase d'utilisation du produit.

3^{ème} GROUPE DE TACHES**SYNTHESE DE LA PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT : AUTRES ACTIONS EN CONCEPTION ET ACTIONS DE VALIDATION**

Ce groupe de tâches comprend :

- les autres actions de prise en compte de l'environnement dans la conception du produit, autres que celles réalisées dans les groupes des tâches 1 et 2,
- les actions de validation pour justifier que le produit défini répond à la spécification technique de besoin dans les domaines spécifiés de l'environnement
- l'actualisation e ces actions en conception et en validation

Actions en conception

Il est important en conception d'engager de façon progressivement décroissante dans les arborescences techniques et fonctionnelles toutes les actions pertinentes participant à la construction

de la robustesse (cf appendice 4) des performances du produit, à savoir une maîtrise des marges de conception ainsi qu'une réduction de la variabilité de la limite de tenue des performances à l'environnement, ces actions peuvent relever de :

- l'identification de critères induits par les agents d'environnement retenus et dimensionnants sur la conception, les procédés de fabrication ou les conditions d'emploi
- de la prise en compte de la variabilité des performances du produit vis-à-vis de l'agent d'environnement spécifié à l'agent d'environnement retenu
- de la réduction de la sensibilité des performances du produit aux dégradations (usure, ...), au vieillissement des matériaux, aux conditions d'emploi et aux écarts de fabrication, par des choix judicieux de conception et de procédés de fabrication
- de la maîtrise des procédés de fabrication à tous les niveaux d'assemblage
- de la mise en œuvre éventuelle d'essais aggravés permettant d'explorer les marges sur les performances et de les accroître en éliminant les causes de défaut corrigibles,
- de l'utilisation, sous toutes ses formes, du retour d'expérience : modèles de simulation validés, bases de faits techniques, etc.
- de reprise de conception lorsque les actions de validation une fois synthétisés ne permettent pas de valider la définition dans l'environnement du profil de vie.

Toutes ces actions concourent à maîtriser :

- les coefficients de variation de l'environnement d'une part et de la résistance des performances à cet environnement d'autre part,
- les marges exprimant le ratio entre la valeur moyenne de la résistance de la performance considérée du produit à un environnement et la valeur moyenne de cet environnement.

Actions de validation

Cette démarche de validation doit remonter progressivement les niveaux de l'arborescence technique du produit (du composant au système) et de son arborescence fonctionnelle en prenant en compte l'ensemble du profil de vie

Pour ces actions de validation, on peut décider, en fonction du degré d'innovation du produit soit :

- des comparaisons, calculs et/ ou simulations réalisés à l'aide de modèles de comportement validés par l'expérience (dans le cas des produits sans nouveauté significative au niveau de la conception, des technologies utilisées, des procédés de fabrication ou des conditions d'emploi)
- des essais, simulation avec éléments réels ou impasses justifiées (dans le cas contraire).

Dans le cas où l'action de validation est un essai, l'agent d'environnement à simuler sera synthétisé à partir des caractérisations des agents d'environnement réalisées dans le cadre du 2^{ème} groupe de tâches, en effectuant des synthèses basées par exemple sur des méthodes d'équivalence de dommage en réponse extrême ou par fatigue. Dans le cas d'agents d'environnement combinés où l'un des agents est soumis dans cette synthèse à une réduction de temps, on s'assurera que cette réduction ne conduit pas vis-à-vis des autres agents à une synthèse non pertinente.*

Lorsque les phénomènes mis en jeu ne sont pas modélisés ou pas modélisables, la synthèse se limite alors à éliminer les valeurs non contraignantes.

Ces résultats sont pris en compte dans le 4^{ème} groupe de tâches.

Nota : il faudra veiller à ce que la réduction du temps ne conduise pas à des non représentativités liées à des phénomènes de seuil

Actualisation de ces actions

Les résultats des essais et des simulations une fois synthétisés conduisent à établir un état des validations acquises.

Pour ce qui concerne les autres, on met en œuvre des actions correctives :

- restriction d'emploi
- reprise en conception
- action complémentaire de validation

4^{ème} GROUPE DE TACHES

ETABLISSEMENT DU PROGRAMME DE VALIDATION

Pour chacun des modes de validation (calculs, simulations, essais), il faut établir un programme d'actions correspondantes.

Lorsque l'action de validation retenue est un essai, il faut transformer l'environnement synthétisé dans le 3^{ème} groupe de tâches, en sévérité d'essai par la prise en compte :

- des limitations imposées par les moyens d'essai (combinaison réalisable d'agents d'environnement, performances des moyens d'essai, ...),
- des modes opératoires existant dans les normes,
- de l'état de la maîtrise dans la simulation de l'environnement considéré,
- d'un coefficient majorateur appelé facteur d'essai (cf appendice 4) dont la prise en compte permet de démontrer que le coefficient de garantie est atteint avec un nombre limité d'essais : il dépend du nombre de représentants du produit défini auquel le même essai est appliqué successivement et de la variabilité de la limite de tenue de la performance essayée. Il est d'autant plus élevé que le nombre d'essais est faible.

Le facteur d'essai ne prend donc pas en compte directement, pas plus que le coefficient de garantie, la répétabilité de la performance considérée d'un exemplaire donné du produit défini. Il prend en compte, par contre, les dispersions d'un exemplaire réalisé à l'autre d'un même produit défini

- des sévérités forfaitaires ou standards proposées par les normes.

Le programme d'essai doit spécifier la chronologie du déroulement des essais qui est directement déduite du profil de vie du produit. L'importance de cette chronologie est mise en évidence par l'exploitation de l'expérience acquise.

Les écarts de représentativité entre l'essai effectué et les conditions réelles du Profil de Vie sont appréhendés par la mise en œuvre de modèles de simulation.

En ce qui concerne la méthodologie de l'essai (préparation, conduite, expression des résultats), on s'appuiera sur des recommandations spécifiques.

Quant à l'exploitation de ces résultats d'essais et afin de permettre les recherches de corrélation et la constitution de Banques de Données pouvant intéresser d'autres projets, il est nécessaire d'assurer la mémorisation de tous les faits techniques survenus au cours de la réalisation des essais.

APPLICATION DE LA DEMARCHE DANS UN PROJET

Le tableau 2 donnée ci-après situe séquentiellement les processus d'un projet et les quatre groupes de tâches qui viennent d'être présentés.

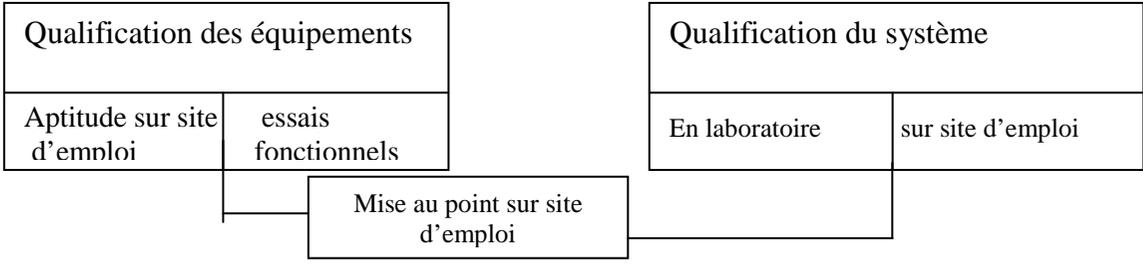
Processus	Expression du besoin	Conception détaillée et qualification	
Documents SY.....	DD	DJ.....
Actions menées pendant le groupe de tâches			
Actions menées au titre du groupe de tâches 1	Profil de vie : situations / sous situations Evènements Fonctions de service spécifiées Performances spécifiées associées	Fonctions techniques définies pour réaliser les fonctions de service Performances associées Arbre technique Avec recalage en fonction de l'acquisition de qualification, équipements et système	
Actions menées au titre du groupe de tâches 2	Caractérisation des situations par les agents d'environnement et leurs valeurs sur la base : - de mesures antérieures d'environnement réel - de modèles d'estimation de l'environnement validés par l'expérience - d'essais partiels	Mesures des environnements réels destinés au niveau équipement et actualisation de l a caractérisation des situations - fonctions de transfert - coefficients de garantie Mesure des environnements réels destinés au système et actualisation de la caractérisation	
Actions menées au titre du groupe de tâches 3		Actions en conception et actions de validation conduisent aux différents niveaux de l'arborescence technique du matériel (du composant au système) et à chaque niveau fonctionnel en examinant : - d'abord les fonctions mises en œuvre au cours de l'utilisation du matériel - puis les fonctions mises en œuvre au cours de chacune des autres situations du profil de vie NB est réactualisé au fur et à mesure de l'exploitation des essais en laboratoire ou sur site d'emploi et de la maîtrise des modèles de simulation réalisés pendant le développement:	
Actions menées au titre du groupe de tâches 4		Programme des essais de qualification au niveau équipement et système et avec application du facteur d'essai et éventuellement à partir des sévérités forfaitaires ou refuges	Actualisation des programmes d'essais de qualification au niveau équipement et système par l'exploitation : - des relevés d'environnement réel (lecteur d'essai) - des modèles de simulation validés

Tableau 2 : Les actions prévues ci-dessus au titre des groupes de tâches peuvent être engagées avant ce qui est indiqué sur cette planche

ANNEXE B : Détermination des données qui caractérisent les agents d'environnement : leur origine et le niveau d'assemblage auquel elles se rapportent

Phase du programme	Données	Niveau d'assemblage	Responsable
Faisabilité conduisant au CdCF	<p>Caractériser chaque situation du Profil de Vie par des agents d'environnement à retenir à priori en s'aidant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Des premiers modèles de comportement, validés ou non par l'expérience, - De l'exploitation globale du retour d'expérience de matériels antérieurs <p>Déterminer les valeurs de chacun des agents d'environnement à l'aide :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De valeurs typiques synthétisées à partir de relevés antérieurs d'environnement réel (Banques de Données), - De modèles de calcul de l'environnement réel validés par l'expérience, - D'essais partiels adaptés, - De mesures spécifiques « in situ » d'environnement réel dans des conditions représentatives de l'emploi futur du matériel, 	système	client
Phase de définition conduisant à la STB	<p>Mettre à hauteur les valeurs correspondantes de chacun des agents d'environnement, à l'aide des nouveaux éléments acquis :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nouvelles valeurs synthétisées à partir de relevés antérieurs d'environnement réel (Banques de Données), - Modèles de calcul intégrant les données d'environnement réel validé par l'expérience, - Résultats d'essais partiels, - Nouvelles mesures spécifiques « in situ » d'environnement réel. Cette détermination doit, autant que possible, conduire à caractériser la loi de répartition des valeurs prises, sa moyenne et son écart-type. Il est à noter que les lois de distribution de l'environnement réel ne sont pas toujours des processus gaussiens. <p>Définir les domaines d'environnement où le fonctionnement (ou le stockage) du matériel est normal, limite et extrême pour chaque critère d'appréciation caractérisant chaque fonction de service.</p>	Tous	M.O.I. et sous traitants
DD	<p>Lister, pour chaque fonction technique (41) , à chaque niveau d'un critère d'appréciation et dans chaque situation, les agents d'environnement correspondants, leurs valeurs, les dispositions contractuelles pour actualiser ces valeurs au cours des phases ultérieures (en particulier pour certaines situations où les niveaux donnés sont intimement liés au choix de conception de la responsabilité de l'industriel),</p> <p>Donner les éléments utiles à la classification en domaines d'environnement où le fonctionnement (ou le stockage) du matériel est normal, limite et extrême et ceci à chaque niveau d'un critère d'appréciation de chaque fonction technique,</p> <p>Donner pour chaque fonction technique et en regard de chaque valeur spécifiée (ou déduite des valeurs spécifiées), la valeur retenue correspondante (le passage de l'une à l'autre se faisant par l'application du coefficient de garantie),</p> <p>Rappeler la probabilité de défaillance acceptée pour chaque critère d'appréciation considéré vis-à-vis de chaque agent d'environnement (ou du paramètre qui le caractérise) auquel il est sensible,</p> <p>Définition des validations à effectuer (calculs, simulations, essais) - Qualification du matériel en environnement :</p> <p>Lister les actions de validation couvrant chaque objectif de validation (le type de démonstration choisi dépend du coût de la validation et du degré d'innovation du matériel en développement).</p>	Tous	M.O.I. et sous traitants

Phase du programme	Données	Niveau d'assemblage	Responsable
	<p>Dans le cas où la démonstration est un essai en environnement, ces actions consistent à:</p> <p>La définition de la sévérité de l'essai. Cette définition suppose la démarche suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - synthèse des agents d'environnement à simuler à partir des caractérisations des agents d'environnement retenus, en utilisant les méthodes de synthèse propres à chaque agent; on prendra également en compte les effets particuliers résultant d'une combinaison de plusieurs agents d'environnement, - transformation de l'environnement synthétisé en sévérité d'essai par la prise en compte : <ul style="list-style-type: none"> a. du facteur d'essai, b. des limitations imposées par les moyens d'essai <p>(combinaison réalisable d'agents d'environnement, critères d'appréciation, etc.),</p> <ul style="list-style-type: none"> c. des modes opératoires existant dans les normes (assurant la reproductibilité des essais), d. de l'état de la maîtrise de l'art dans la simulation de l'environnement considéré, e. éventuellement, des sévérités préférentielles proposées par les normes, 		

Tableau 3: Détermination des données pour chaque phase d'un programme

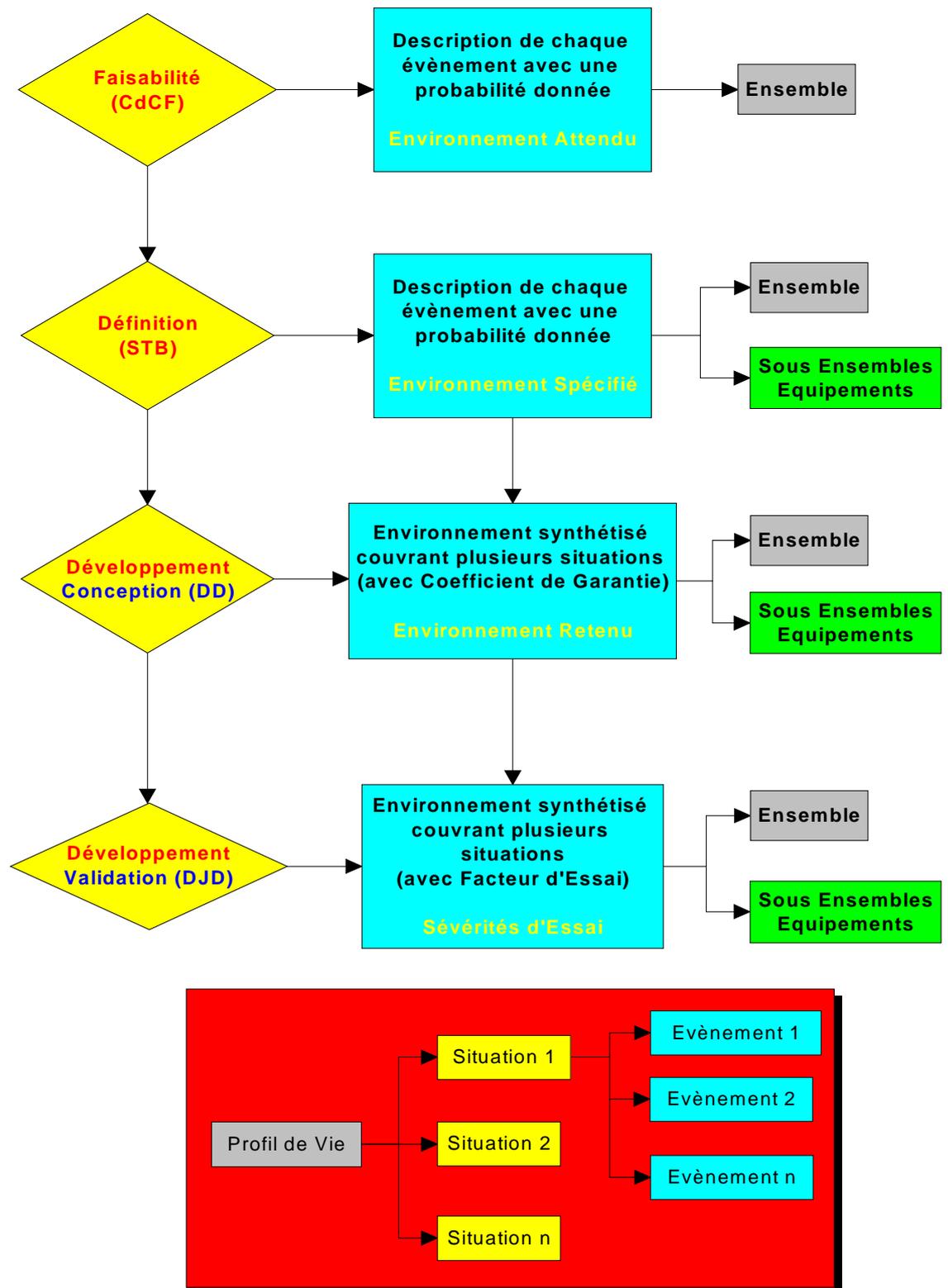


Figure 4: Schéma des différentes phases

Phase du programme et document jalon	action	Valeurs d'environnement et/ou valeurs qui en découlent		Niveau d'assemblage	Fonctions concernées		Renseignements nécessaires	Observations particulières
		entrée	en sortie		service	/technique		
Faisabilité conduisant au CdCF	0	<ul style="list-style-type: none"> . valeurs type provenant de répertoires, de bases de données, valeurs refuge . valeurs issues de modèles de calcul . n valeurs mesurées pour un événement, une situation donnée 	<ul style="list-style-type: none"> . une valeur représentant chaque événement d'une situation . paramètres caractéristiques de sa dispersion 	système	X		<ul style="list-style-type: none"> . profil de vie système . description des fonctions de service . hypothèses sur modèles de comportement . niveau de confiance sur l'intervalle de confiance du CVE 	les données seront décrites pour une situation, événement donné, sous la forme de valeurs, ensemble de valeurs (spectre ...) auxquelles sera associé un niveau de confiance et une loi statistique soit supposée, soit estimée à partir de mesures
définition conduisant à la STB	0	<ul style="list-style-type: none"> . valeurs précédentes (Cahier des Charges Fonctionnelles) réactualisées par - de nouvelles mesures ou évaluations des valeurs - la prise en compte des effets induits par les choix de conception . indication du domaine normal, limite ou extrême d'appartenance de la valeur 	<ul style="list-style-type: none"> . idem ci-dessus . ces valeurs constituent les valeurs d'environnement spécifiées 	tous niveaux	X		<ul style="list-style-type: none"> . profil de vie tous niveaux d'assemblage . ensuite idem ci dessus 	idem Cahier des Charges Fonctionnelles (CdcF)

Phase du programme et document jalon		action	Valeurs d'environnement et/ou valeurs qui en découlent en entrée en sortie		Niveau d'assemblage	Fonctions concernées service /technique	Renseignements nécessaires	Observations particulières
développement	conception conduisant au DD	1 2 3	valeurs d'environnement spécifiées en STB aux différents niveaux d'assemblage	. critères de dimensionnement	tous niveaux	X	. description des fonctions techniques . probabilité de défaillance tolérée . CVR déterministe provenant de répertoires ou estimé avec niveau de confiance sur l'encadrement . niveau de confiance sur l'intervalle de confiance de la résistance moyenne de la performance à l'agent d'environnement considéré	. les valeurs d'environnement spécifiées en regard d'une situation, d'un événement seront synthétisées par regroupement de plusieurs événements ou situations et conduiront à des valeurs d'environnement retenues . ces valeurs devront permettre d'orienter des choix de conception
	validation de la conception (conduisant au DJD des fonctions techniques)	1 4 5	idem ci dessus	. valeurs d'environnement retenues à utiliser pour les calculs et simulations . sévérités d'essais personnalisées	tous niveaux	X	idem ci dessus et de plus : . niveau de confiance sur l'intervalle de confiance de la résistance moyenne de la performance à l'agent d'environnement considéré . nombre de matériels identiques soumis à un essai donné	idem ci dessus . ces valeurs seront utilisées, soit dans les calculs et simulations, soit pour élaborer les sévérités d'essais personnalisées
	validation du développement (conduisant au DJD des fonctions de service)	2 3 5 6	idem ci dessus	. idem ci dessus mais pour fonctions de service	tous niveaux	X	. idem ci dessus mais pour fonctions de service	idem ci dessus . les valeurs actualisées seront comparées aux valeurs correspondantes initialement retenues. En cas de dépassement, on actualisera si nécessaire les valeurs qui s'en déduisent
production (non intégré dans environnement spécifié)		7	. mesures d'environnement caractérisant certains événements du processus de production	. valeurs retenues synthétisées par événement significatif du processus de production . spécifications d'essais d'acceptation	tous niveaux	X	. déroulement du processus de production . probabilité de défaillance tolérée en regard des environnements significatifs générés par le processus de production	. les valeurs synthétisées par événement significatif du processus de production seront comparées aux valeurs synthétisées de même nature du profil de vie. En cas de dépassement, on devra adapter le processus de production pour réduire les contraintes.

Tableau 4 : Phases du programme

PHASES DE PROGRAMME	APPORTS DU PROFIL DE VIE	PRINCIPAL UTILISATEUR	ENTREES NECESSAIRES
FAISABILITE SPECIFICATION	<ul style="list-style-type: none"> Aide à l'expression du besoin Pré-spécification des performances Pré-spécification des objectifs SdF 	Spécificateur & SdF id. id.	<ul style="list-style-type: none"> Identification des segments et des phases principales du profil de vie Nature de l'environnement (non caractérisé)
CONCEPTION	<ul style="list-style-type: none"> Dimensionnement du produit vis-à-vis des performances, des exigences SdF et de l'environnement Spécification détaillée des performances et flexibilité associée Objectifs SdF affinés et allocations SdF Expression des besoins en soutien logistique 	Concepteur Concepteur SdF Soutien logistique	<ul style="list-style-type: none"> Affinement du logigramme du profil de vie jusqu'aux situations détaillées Durées et fréquences d'occurrence des situations Première caractérisation de l'environnement
DEVELOPPEMENT/ QUALIFICATION	<ul style="list-style-type: none"> Dimensionnement des fonctions techniques Evaluations détaillées de la SdF Définition des fonctions de protection et des moyens de contournement Spécification des sévérités d'essais 	Concepteur SdF Concepteur Développeur	<ul style="list-style-type: none"> Caractérisation détaillée des situations Caractérisation fine de l'environnement (naturel et induit) Configuration des fonctions techniques par situations
EXPLOITATION	<ul style="list-style-type: none"> Référentiel client du profil de vie théorique Référentiel pour l'estimation de la durée de vie résiduelle et l'aptitude à une extension de la durée de vie Enrichissement des banques de données 	Spécificateur Spécificateur & SdF Soutien logistique & SdF	<ul style="list-style-type: none"> Retour d'expérience positif (occurrence des situations, mesure de l'incidentel, mesure de l'environnement, prise en compte du facteur humain...)

Tableau 5 : Des entrées-sorties du profil de vie par phases de programme et principaux utilisateurs

Figures

<i>Figure 1 : Synoptique de la démarche PCEC</i>	12
<i>Figure 2 : Exemple de programme d'essai séquentiel.....</i>	18
<i>Figure 3 : Processus de développement d'un programme séquentiel d'essais</i>	19
<i>Figure 4: Schéma des différentes phases</i>	33

Tableaux

<i>Tableau 1: Responsabilité dans l'application de la PCEC.....</i>	13
<i>Tableau 2 : Les actions prévues ci-dessus au titre des groupes de tâches peuvent être engagées avant ce qui est indiqué sur cette planche</i>	30
<i>Tableau 3: Détermination des données pour chaque phase d'un programme</i>	32
<i>Tableau 4 : Phases du programme</i>	35
<i>Tableau 5 : Des entrées-sorties du profil de vie par phases de programme et principaux utilisateurs</i>	36